



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

SANNA BOSTRÖM

**LÄHIÖKERROSTALON ENERGIA TEHOKKUUSLUVUN LAS-
KENTA JA LÄMMÖNKULUTUKSEN JAKAUTUMINEN**

Diplomityö

Tarkastajat: professori Matti Pentti ja
tekniikan tohtori Jukka Lahdensivu
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 7. joulukuuta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

BOSTRÖM, SANNA: Lähiökerrostalon energiatehokkuusluvun laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen

Diplomityö, 60 sivua + 3 liitesivua

Lokakuu 2012

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastajat: Prof. Matti Pentti ja tekn. toht. Jukka Lahdensivu

Avainsanat: Energiankulutus, energiatehokkuusluku, lämmönkulutus

Diplomityön tavoitteena on selvittää asuinkerrostalon laskennalliseen energiankulutukseen perustuva energiatehokkuusluku (ET-luku, $[kWh/bm^2/vuosi]$) ja vertailla sitä toteutuneen energiankulutuksen mukaiseen energiatehokkuuslukuun. Työssä selvitetään myös asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen lämpimän veden, ilmanvaihdon ja johtumishäviöiden kesken.

Tutkimusta varten aineistosta on valittu yhteensä 6 asuinkerrostalokiinteistöä, joiden valmistumisvuodet sijoittuvat vuosien 1965 – 1992 välille. Kohteista on selvitetty niiden lämmitysenergian-, kiinteistösähkön- ja vedenkulutustiedot. Asuinkerrostalokohteiden energiankulutukset on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Kohteiden lämmönkulutuksen jakauma on saatu osittain laskennallisesti ja osittain toteutuneisiin kulutustietoihin perustuen.

Laskennalliseen energiankulutukseen perustuva ET-luku ei vastaa toteutuneen kulutuksen mukaista ET-lukua. Kohteilla 1 – 4 (valmistumisvuodet 1965 – 1981 välillä) laskennalliseen kulutukseen perustuva ET-luku on suurempi ja kohteella 6 (valmistumisvuosi 1992) pienempi toteutuneen kulutuksen mukaiseen ET-lukuun verrattuna. Ainoastaan kohteella 5 (valmistumisvuosi 1989) laskennallinen ET-luku on lähes sama toteutuneen kanssa. Tulosten perusteella energiankulutuksen laskenta ohjeiden mukaan yliarvioi alapohjan läpi johtuvan energian määrää pääasiassa vanhemmilla asuinkerrostaloilla, joissa alapohjien lämmöneristys on vaatimaton tai sitä ei ole ollenkaan. Tällöin laskennallinen kokonaisenergiankulutus voi olla huomattavan paljon suurempi toteutuneeseen verrattuna.

Lämmönkulutuksen jakauma vaihtelee suuresti kohteittain, mutta keskiarvon mukaan lämmönkulutus jakautuu lähes kolmeen samansuuruiseen osaan: käyttöveden lämmityksen osuus on 32 %, ilmanvaihdon lämmityksen osuus 32 % ja johtumishäviöiden osuus 36 % lämmönkulutuksesta. Lähes kaikilla kohteilla johtumishäviöistä puolet tapahtuu ikkunoiden, parvekeovien sekä ulko-ovien kautta ja noin kolmasosa ulkoseinien kautta. Suurin energiansäästöpotentiaali koko lähiökerrostalokannasta löytyy siis ikkunoiden ja parvekeovien uusimisesta.

Tarkempi selvitys laskennallisen ja toteutuneen energiankulutuksen mukaisten energiatehokkuuslukujen eroista sekä lämmönkulutuksen jakaumasta vaatii useamman asuinkerrostalokiinteistön tarkastelua. Kiinteistöjä tulisi valita eri vuosikymmeniltä, jolloin erot eri-ikäisten kiinteistöjen laskennallisten ja toteutuneiden energiatehokkuuslukujen välillä olisivat selkeämmin nähtävissä. Lisäksi saataisiin selville lämmönkulutuksen jakautuminen eri-ikäisillä kiinteistöillä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

BOSTRÖM, SANNA: Computational examination of energy efficiency coefficient and heat consumption of suburban precast concrete building

Master of Science Thesis, 60 pages, 3 Appendix pages

October 2012

Major: Structural Design

Examiner: Prof. Matti Pentti and D.Sc. Jukka Lahdensivu

Keywords: Energy consumption, energy efficiency coefficient, heat consumption

The objective of this thesis is to compare energy efficiency coefficients based on realized and calculated energy consumption of suburban precast concrete buildings. The distribution of heat consumption between water, ventilation and thermal conduction through the building envelope of these buildings is also examined.

Six buildings from different decades were selected for the study. The oldest building was constructed in 1965 and the youngest in 1992. The heating energy, premises' electricity and water consumption of the buildings have been measured. The energy consumption of the buildings is calculated according to the guidelines D5 of the National Building Code of Finland. The heat consumptions of the buildings are based on calculated and realized values.

The calculated energy efficiency coefficient was larger than the realized one for buildings 1 – 4 (built in 1965, 1974, 1978 and 1981) and smaller for building 6 (built in 1992). The difference between the coefficients was especially high for buildings 2 and 3. For building 5 (built in 1989) there was only a small difference between the calculated and realized energy efficiency coefficients. According to the results, the calculation of energy consumption overestimates the thermal conduction through the base floor for buildings 1 – 3.

The distribution of heat consumption varies greatly between buildings. On average the portion of hot household water is 32 %, heating incoming air is 32 % and thermal conduction through the building envelope is 36 % of total heat consumption. About a half of the total thermal conduction is transmitted through windows and about a third through external walls. The portion of windows includes also balcony doors and exterior doors.

Further study on the difference between realized and calculated energy efficiency coefficients as well as the distribution of heat consumption is needed. Examination requires several suburban precast concrete buildings from different decades.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksella osana Energiatohokas lähiökorjaaminen -tutkimushanketta. Työn tarkastajana toimi professori Matti Pentti ja työn tarkastajana sekä ohjaajana toimi tekniikan tohtori Jukka Lahdensivu.

Haluan kiittää Jukka Lahdensivua diplomityön ohjauksesta. Haluan kiittää myös VVO:ta, jonka kautta sain työssä tarvittavat arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat sekä muita tietoja työhön valituista asuinkerrostalokiinteistöistä. Kiitokset Rakennustekniikan laitoksella olleille työkavereilleni avusta ja neuvoista.

Lopuksi haluan kiittää vielä läheisiäni tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Tampereella 8.10.2012

Sanna Boström

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Työn taustaa ja tavoitteet | 1 |
| 1.2 | Työn suoritus ja rajaukset | 1 |
| 2 | Rakennusten energian- ja lämmönkulutus | 3 |
| 2.1 | Rakennusten energiankulutus | 3 |
| 2.2 | Energiatodistus | 4 |
| 2.3 | Energiatehokkuusluku | 4 |
| 2.4 | Lämmönkulutus | 6 |
| 2.4.1 | Johtumishäviöt | 7 |
| 2.4.2 | Lämmin käyttövesi | 8 |
| 2.4.3 | Ilmanvaihto | 9 |
| 3 | Mittausaineiston kuvaus | 11 |
| 3.1 | Yleistä | 11 |
| 3.2 | Kerrostalokohteet | 14 |
| 3.3 | Perustietojen laskenta | 16 |
| 4 | Rakennuksen energiankulutus ja energiatehokkuusluku | 19 |
| 4.1 | Rakennuksen energiankulutuksen laskenta | 19 |
| 4.1.1 | Laskennan suoritus | 19 |
| 4.1.2 | Vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöenergioiden laskenta | 21 |
| 4.1.3 | Käyttöveden lämmitystarpeen laskenta | 22 |
| 4.1.4 | Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergioiden laskenta | 23 |
| 4.1.5 | Kiinteistösähkönkulutuksen laskenta | 25 |
| 4.1.6 | Lämpökuormien laskenta | 25 |
| 4.1.7 | Lämmitysenergiankulutuksen ja rakennuksen energiankulutuksen laskenta | 29 |
| 4.2 | Kohteiden energiankulutuksen laskenta | 30 |
| 4.2.1 | Energiankulutuksen laskenta | 30 |
| 4.2.2 | Ilmavuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen variointi | 35 |
| 4.2.3 | Maan lämmönvastuksen huomiointi energiankulutuksen laskennassa | 36 |
| 4.3 | Energiatehokkuusluvun laskenta | 37 |
| 4.3.1 | Laskennallisen energiankulutuksen mukainen energiatehokkuusluku | 38 |
| 4.3.2 | Toteutuneen energiankulutuksen mukainen energiatehokkuusluku | 39 |
| 4.4 | Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailu | 40 |
| 4.4.1 | Laskennallisen kulutus ohjeiden mukaan | 40 |
| 4.4.2 | Laskennallinen kulutus maan lämmönvastus huomioiden | 44 |
| 5 | Lämmönkulutuksen laskenta | 46 |
| 5.1 | Laskennan lähtötiedot | 46 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.2 | Kohteiden lämmönkulutus | 46 |
| 5.3 | Ilmanvaihtokertoimen variointi..... | 50 |
| 5.4 | Lämmönkulutuksen vertailu kirjallisuudesta saatavaan lämmönkulutuksen jakaumaan | 53 |
| 6 | Johtopäätökset | 55 |
| 6.1 | Yhteenveto tuloksista | 55 |
| 6.2 | Johtopäätökset | 56 |
| | Lähteet..... | 59 |
| | Liitteet | 61 |

TERMIT JA MERKINNÄT

| | |
|--------------------------------------|---|
| Bruttopinta-ala | Kuvaa koko rakennuksen laajuutta. Lasketaan rakennuksen kaikkien kerrostasojen kerrostasoalojen summana riippumatta kerrostason sijainnista ja sen sisältämien huoneiden käyttötarkoituksista sekä siitä, ovatko huoneet kylmiä vai lämpimiä. [brm^2] |
| Energiatehokkuusluku | Energiatehokkuusluku eli ET-luku ilmaisee rakennuksen energiatehokkuuden. Saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla, josta on vähennetty kylmien tilojen osuus. [$\text{kWh} / \text{brm}^2 / \text{vuosi}$] |
| U-arvo | U-arvo eli lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. [$\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$] |
| A_{br} | rakennuksen bruttopinta-ala, brm^2 |
| E_{rakennus} | rakennuksen energiankulutus, kWh |
| Q_{iv} | ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
| Q_{joht} | rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$ | rakennuksen tilojen jäähdytysenergiankulutus (jäähdytysjärjestelmään tuotu jäähdytysenergia), kWh |
| Q_{lkv} | lämpimän käyttöveden energiankulutus, kWh |
| $Q_{\text{lkv, häviöt}}$ | käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kierto häviöt}}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kuorma}}$ | käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, netto}}$ | käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergian tarve, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys}}$ | rakennuksen tai rakennusryhmän lämmitysenergian kulutus, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ | rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ | rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh |

| | |
|-------------------------------------|---|
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ | rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve, kWh |
| $Q_{\text{lämpökuorma}}$ | rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{vuotoilma}}$ | vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
| S_{nvpkunta} | normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla |
| $S_{\text{toteutunutvpkunta}}$ | toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla |
| $W_{\text{kiinteistösähkö}}$ | rakennuksen kiinteistösähköenergian kulutus, kWh |
| $\eta_{\text{lämpö}}$ | lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste |

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa ja tavoitteet

Tämä diplomityö on osa ENTELKOR (Energiatehokas lähiökorjaaminen) – tutkimushanketta, jonka tavoitteena on kehittää ratkaisuja lähiöiden energiatehokkuuden parantamiseksi. Tutkimuksen yhteydessä on selvitetty 727 kiinteistön lämmitysenergian, kaukolämpöveden, kiinteistösähkön ja veden kulutustiedot.

Diplomityön tavoitteena on vertailla asuinkerrostalon laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvia energiatehokkuuslukuja. Työn tavoitteena on myös selvittää asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen ilmanvaihdon, lämpimän veden ja johtumishäviöiden kesken sekä verrata sitä kirjallisuudesta saatavaan lämmönkulutuksen jakaumaan. Aineistosta valitaan eri vuosikymmenillä rakennettuja asuinkerrostalokiinteistöjä, jotta voidaan tutkia myös rakennuksen lämmöneristystason ja iän vaikutusta energian- ja lämmönkulutukseen.

1.2 Työn suoritus ja rajaukset

Rakennuksen energiankulutus ja energiatehokkuusluku lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeiden sekä Ympäristöministeriön laatiman Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2007) avulla. Energiankulutuksen ja energiatehokkuusluvun tutkimuksen vaiheet ovat:

- energiankulutuksen laskenta ohjeiden (RakMK: D5 2007) mukaan
- laskennallisen kulutuksen variointi
- energiatehokkuuslukujen laskenta
- toteutuneen ja laskennallisen energiankulutuksen sekä energiatehokkuuslukujen vertailu.

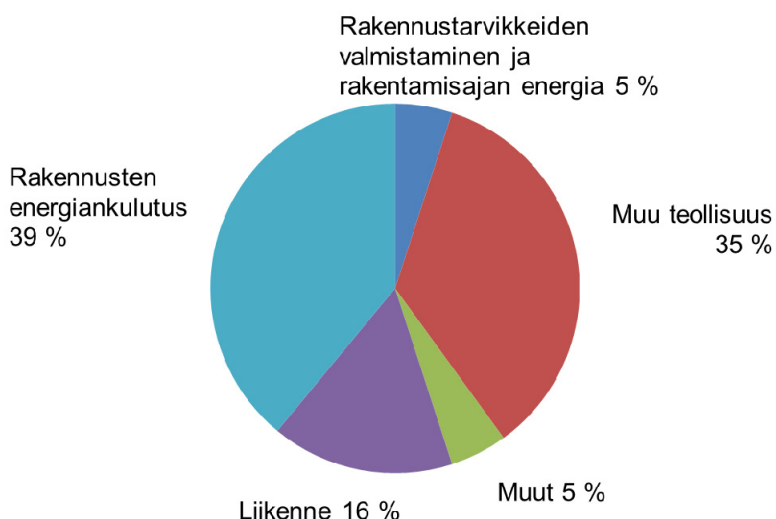
Lämmönkulutuksen jakauman määrittämisessä käytetään osittain asuinkerrostalokiinteistöjen kulutustietoja ja osittain laskennasta saatavia tuloksia. Kohteiden lämmitysenergian ja veden lämmittämiseen käytetyn energian määrä on mitattu. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti. Johtumishäviöiden jakautuminen eri rakennusosille lasketaan niiden pinta-alojen ja U-arvojen perusteella. Saatuja lämmönkulutuksen jakaumia vertaillaan kirjallisuudesta saataviin asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakaumiin.

Tutkimus rajataan koskemaan kuutta asuinkerrostalokiinteistöä. Sekä laskennallinen että toteutunut energiankulutus suhteutetaan Jyväskylän säähän, joten kiinteistöjen sijainnilla ei ole merkitystä. Kohteiden valinnassa rajataan pois myös julkisivultaan monimutkaiset ja useasta rakennuksesta koostuvat kerrostalokiinteistöt, jotta pinta-alojen ja muiden lähtötietojen laskeminen pysyy mahdollisimman yksinkertaisena.

2 RAKENNUSTEN ENERGIAN- JA LÄMMÖN- KULUTUS

2.1 Rakennusten energiankulutus

Uusia rakennuksia rakennetaan lisää noin 1,5 – 2 % ja samaan aikaan rakennuksia poistuu käytöstä keskimäärin 1 % koko rakennuskannasta. Rakennuskanta kasvaa siis noin 0,5 – 1,5 % vuodessa suhteessa koko kannan määrään. Rakennuskannan kasvu ja rakennusten sähkönkulutuksen kasvu ovat ensisijaisia syitä siihen, että viimeisen 20 vuoden aikana rakennusten energiankulutuksen osuus energian kokonaiskulutuksesta on kasvanut 29 prosentista 39 prosenttiin. Ilmanvaihdon lisäämisen, koneellisen jäähdytyksen lisääntymisen, sähkölaitteiden määrän kasvun ja taloussähkön kulutuksen kasvun vuoksi rakennusten energiankulutus kasvaa. Kuvassa 2.1 on energian loppukäytön jakautuminen Suomessa vuonna 2007. Rakennusten energiankäytöstä tuotantorakennusten lämmitykseen ja kiinteistösähköön kuluu 9 %, asuin- ja palvelurakennusten lämmitykseen 22 % sekä asuin- ja palvelurakennusten huoneisto- ja kiinteistösähköön 8 %. (Lappalainen 2010)



Kuva 2.1. Energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2007, yhteensä 408 TWh (Lappalainen 2010).

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi rakennuksen sijainti, muoto, koko, vaippa, rakennusosat, ilmanvaihto, vesi- ja viemärijärjestelmä

sekä sähkölaitteet. Rakennuksen maantieteellisen sijainnin lisäksi rakennuksen paikallinen sijainti vaikuttaa sen energiankulutukseen. Ilman lämpötilat, tuulen nopeus ja auringon säteilyenergian vaikutus saattavat vaihdella riippuen rakennuksen paikallisesta sijainnista. Vaipan kautta tapahtuviin häviöihin vaikuttaa vaipan lämmöneristävyys, lämpökapasiteetti sekä ilman- ja tuulenpitävyys. (Lappalainen 2010)

2.2 Energiatodistus

Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden ja sen tavoitteena on saada rakennuksen energiatehokkuus tärkeäksi valintakriteeriksi rakennuksen osto- tai vuokraustilanteessa. Energiatodistuksessa ilmoitetaan se energiamäärä, joka tarvitaan rakennuksen tarkoitustaan vastaavaan käyttöön. Energiatodistuksen avulla kiinteistön omistajat saavat tietoa rakennuksen energiankulutuksesta ja voivat siten kiinnittää paremmin huomiota rakennuksen energian käyttöön. Energiatodistus mahdollistaa käyttötarkoitukseltaan samankaltaisten rakennusten vertailun keskenään ja se on aina rakennus- tai rakennusryhmäkohtainen, ei asuntokohtainen. Energiatodistus voidaan antaa rakennuslupamenettelyn tai energiakatselmuksen lisäksi myös erillisenä todistuksena tai osana isännöitsijätodistusta. (L 13.4.2007/487; Energiatodistusopas 2009)

Energiatodistuksen käyttöönottoon velvoittaa EU:n direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. Rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen vaikuttavat Kioton ilmastopöytäkirja sekä Suomen energia- ja ilmastostrategia. Laki rakennuksen energiatodistuksesta sekä ympäristöministeriön asetukset rakennuksen energiatodistuksesta ja energiatehokkuuden laskentamenetelmästä tulivat voimaan vuoden 2008 alussa. Laki edellyttää, että rakennusta tai sen osaa myyessä tai vuokrattaessa on ostajan tai vuokraajan nähtäville asetettava rakennuksen voimassa oleva energiatodistus. Lisäksi rakennuslupaa haettaessa on uudisrakennuksen hakemukseen liitettävässä energiaselvityksessä oltava mukana rakennuksen energiatodistus. Suurilla asuinrakennuksilla, eli yli kuudesta asunnosta koostuvilla rakennuksilla tai rakennusryhmillä, energiatodistus on uudisrakennuksilla voimassa neljä vuotta ja olemassa olevilla rakennuksilla kymmenen vuotta. (Energiatodistusopas 2009)

2.3 Energiatehokkuusluku

Energiatehokkuusluku, eli ET -luku, on osa rakennuksen energiatodistusta ja sitä käytetään ilmaisemaan rakennuksen energiatehokkuus. Energiatehokkuusluku saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla. Bruttopinta-alaan kuuluu ainoastaan rakennuksen lämmitetyt tilat. Suurissa asuinrakennuksissa energiatehokkuuslukuun lasketaan rakennuksen vuotuinen lämmitysenergian, kiinteistösähkön ja mahdollisen jäähdytysenergian kulutus. Energiatehokkuusluku määritellään joko laskennallisesti tai todellisen kulutuksen mukaan. Suurissa asuinrakennuksissa vain uudisrakennuksen energiatehokkuusluku määritellään laskennallisesti,

jonka jälkeen se perustuu rakennuksen todelliseen energiankulutukseen. (Energiatodistusopas 2009)

Rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä voi poiketa ostoenergiamäärästä. Rakennuksen lämmitysenergiaan sisältyy tilojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä, mutta se ei sisällä kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiatuotannon häviöitä. Koska rakennuksen tarvitsema energiamäärä sisältää lämmöntuottolaitteiden lämpöhäviöenergiat sisälle rakennukseen ja lämmitysverkostoon menevän lämmön, se sisältää siten myös lämmönkehityslaitteiden vaipan lämpöhäviöt, kaukolämmönjakelukeskuksen lämpöhäviöt, lämmitysputkiston ja lämmönluovuttimien lämpöhäviöt, sekä mahdollisten varaajien lämpöhäviöt. Rakennuksen sähköenergiaan lasketaan suurilla asuinrakennuksilla vain kiinteistösähköenergia ja siihen kuuluu muun muassa automatiikkalaitteiden, talotekniikan pumppujen, hissien sekä asuntojen ulkopuolisen valaistuksen sähkönkulutus. Rakennuksen jäähdytysenergia lasketaan mukaan, jos rakennuksessa on jäähdytysjärjestelmä. Suurten asuinrakennusten energiatehokkuusluku lasketaan kaavalla 2.1.

$$ET = \frac{\sum [Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{kiinteistösähkö}} + Q_{\text{jäähdytys, tilat}}]}{\sum A} \quad (2.1)$$

missä

| | |
|-------------------------------|---|
| ET | rakennuksen tai rakennusryhmän energiatehokkuusluku, kWh / brm ² / vuosi |
| Q _{lämmitys} | rakennuksen tai rakennusryhmän lämmitysenergian kulutus, kWh / vuosi |
| W _{kiinteistösähkö} | rakennuksen tai rakennusryhmän kiinteistösähkön kulutus, kWh / vuosi |
| Q _{jäähdytys, tilat} | rakennuksen tilojen jäähdytysenergiankulutus (jäähdytysjärjestelmään tuotu jäähdytysenergia), kWh / vuosi |
| Σ A | rakennuksen tai rakennusryhmän yhteenlaskettu bruttopinta-ala, brm ² . (Energiatodistusopas 2009) |

Rakennuksen bruttopinta-alasta vähennetään lämmittämättömien tilojen osuus, joita voivat olla esimerkiksi kylmät ullakot ja kylmät autosuojat. Jos rakennuksen ulkopuolella on erillisiä rakennuksia, jotka ovat jatkuvasti lämmitettyjä, on ne otettava huomioon sekä energiankulutuksen, että bruttopinta-alan laskennassa. Jotta rakennukset eri puolella Suomea olisivat vertailukelpoisia keskenään, on rakennuksen lämmitysenergian kulutus suhteutettava Jyväskylän säähän. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että uudisrakennuksen lämmitysenergiatarve lasketaan Jyväskylän säätiedoilla ja olemassa olevan rakennuksen lämmitysenergian kulutus muunnetaan vastaamaan Jyväskylän säätä sääkorjauksella. (Energiatodistusopas 2009)

Kiinteistölle määritellään energialuokka asteikolla A – G sen energiatehokkuusluvun perusteella. Asteikossa A tarkoittaa vähiten energiaa kuluttavaa ja G eniten energiaa kuluttavaa kiinteistöä. Energialuokitus mahdollistaa kiinteistön energiatehokkuuden arvioinnin ja sen vertaamisen muihin vastaaviin rakennuksiin. (Lappalainen 2010) Energiatehokkuusluokitteluasteikko vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti, jolloin esimerkiksi pienillä asuinrakennuksilla, suurilla asuinrakennuksilla, toimistorakennuksilla ja opetusrakennuksilla on omat luokitteluasteikkonsa. Luokitteluas-teikoissa kirjaintunnukset pysyvät samoina, mutta luokkien sisältämät energiatehokkuusluvut vaihtelevat riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta. Energiatehokkuusluokaksi annetaan luokka G, jos rakennukselle ei voida määrittää luotettavasti sen energi-ankulutusta. Tällöin energiatodistuksessa on mainittava, että energiatehokkuuslukua ei voida määrittää. Taulukossa 2.1 on suurten asuinrakennusten energiatehokkuusluokat ja niitä vastaavat energiatehokkuusluvut.

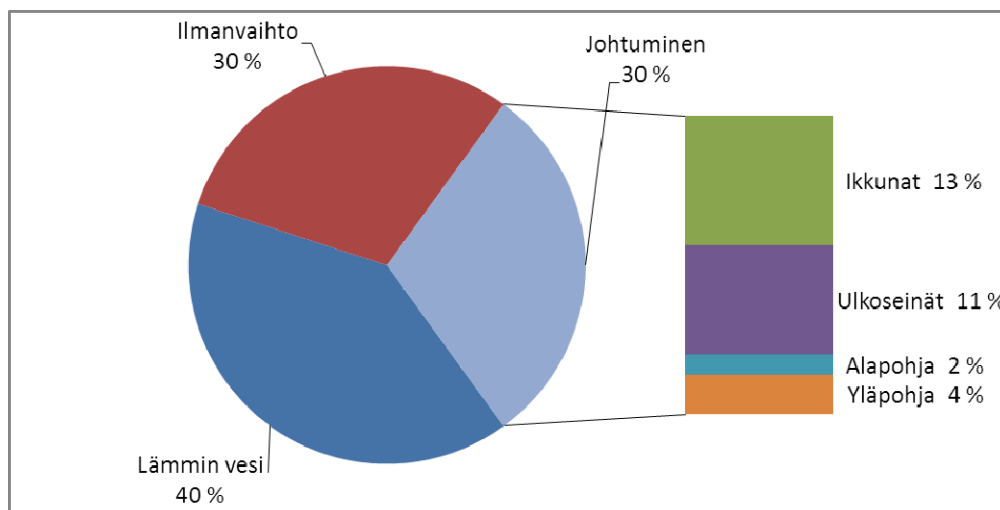
Taulukko 2.1. Suurten asuinrakennusten energiatehokkuusluokat (A 19.6.2007/765).

| Energiatehokkuus- luokka | Energiatehokkuusluku [kWh / brm ² / vuosi] |
|-----------------------------|--|
| A | ≤ 100 |
| B | 101 - 120 |
| C | 121 - 140 |
| D | 141 - 180 |
| E | 181 - 230 |
| F | 231 - 280 |
| G | ≥ 281 |

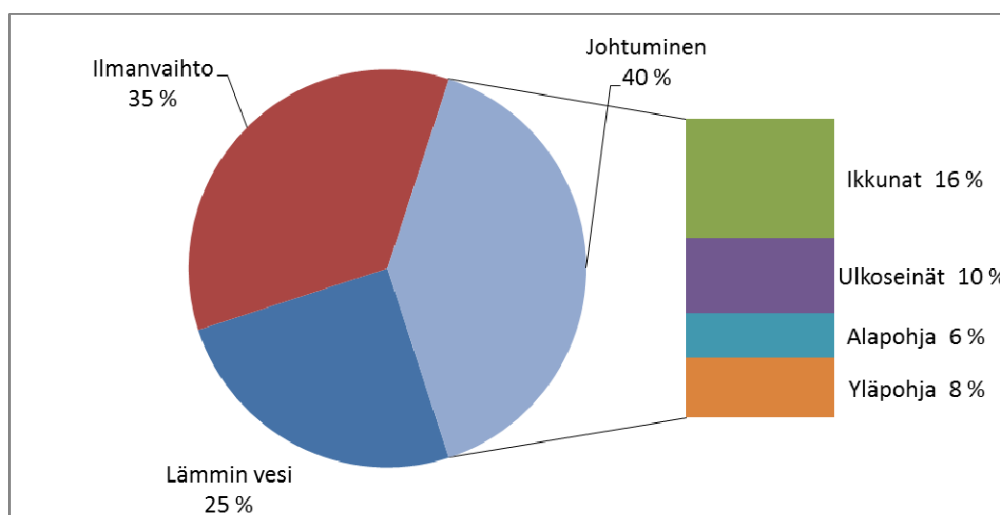
2.4 Lämmönkulutus

Rakennukseen tuotava ja sieltä poistuva energia muodostavat yhdessä rakennuksen energiataseen. Rakennukseen tuotavaa energiaa on lämmitysenergia, talousenergia, ihmisten luovuttama lämpö ja auringon säteily. Lämmitysenergia tarkoittaa lämmitysjär-jestelmällä tuotettua energiaa ja talousenergia muodostuu valaistuksen ja sähkölaitteiden käytöstä. Rakennuksesta poistuvaa energiaa on johtumalla siirtyvä energia, ilmanvaihdon mukana poistuva energia ja lämpimän veden mukana poistuva energia. (Lappalai-nen 2010)

Lämmönkulutus tarkoittaa ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden sekä johtumishäviöi-den kautta kulkeutuvaa lämpöä ulos rakennuksesta. Johtumishäviöt jakautuvat ikkunoi-den, ulkoseinien, alapohjan ja yläpohjan kautta tapahtuviksi häviöiksi. Arvio lämmön-kulutuksen jakaumasta vaihtelee hieman eri kirjallisuuslähteiden mukaan. Kuvan 2.2 mukaan asuinkerrostalon ilmanvaihdon osuus on noin 30 %, lämpimän käyttöveden osuus noin 40 % ja johtumishäviöiden osuus noin 30 % lämmönkulutuksesta. Kuvan 2.3 mukaan ilmanvaihdon osuus on 35 %, lämpimän käyttöveden osuus 25 % ja johtumis-häviöiden osuus 40 % lämmönkulutuksesta. (Nippala et al. 1995; Mäkinen 2009; Linne 2010)



Kuva 2.2. Asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen (Linne 2010).



Kuva 2.3. Asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen (Mäkinen 2009).

Lämmön ominaiskulutus riippuu monesta eri tekijästä. Rakennuksen maantieteellisen sijainnin lisäksi rakennuksen paikallisella sijainnilla on merkitystä muun muassa paikallisten lämpötilaerojen, tuulisuuden ja aurinkoenergian saannin vuoksi. Rakenteiden läpi johtuvan lämmön määrään vaikuttaa niiden eristystaso sekä U-arvo. Myös ikkunoiden rakenteella, koolla, suuntauksella ja U-arvolla on vaikutusta lämmönkulutukseen. Rakennuksen tiiviys vaikuttaa vuotoilman mukana kulkeutuvan lämmön määrään. Myös asukkaiden käyttötottumuksilla on vaikutusta lämmönkulutukseen: huonelämpötilan suuruus, tuuletuksen määrä, ilmanvaihdon määrä ja lämpimän veden käytön suuruus vaikuttavat rakennuksesta poistuvan lämmön suuruuteen. (Lappalainen 2010)

2.4.1 Johtumishäviöt

Johtumishäviöiden osuus asuinkerrostalon lämmönkulutuksesta on kuvien 2.2 ja 2.3 mukaan arviolta 30 – 40 %. Johtumishäviöt jakautuvat eri rakennusosille siten, että ikkunoiden osuus on noin 13 – 16 %, ulkoseinien osuus noin 10 – 11 %, alapohjan osuus

noin 2 – 6 % ja yläpohjan osuus noin 4 – 8 % lämmönkulutuksesta. Ikkunoiden osuus sisältää myös parveke- ja ulko-ovet. Johtumishäviöihin vaikuttaa rakenteiden pinta-ala, U-arvo, vallitsevat lämpötilaerot, lämpötilaerojen vaikutusaika ja ilmavuodot (Energiansäästömahdollisuudet 2000).

Vaipan läpi johtuvaa energiaa laskettaessa ei voida olla täysin varmoja rakenteiden ominaisuuksista. Epävarmuutta aiheuttaa rakennekerrosten paksuus, rakenteiden lämmönläpäisevyys ja epäjatkuvuuskohdat rakenteissa. Sandwich-elementissä lämmöneriste voi olla kokoonpuristunut, paksuudeltaan epätasainen tai sitä ei ole laitettu suunnitelmassa olevaa määrää. Rakenteen lämmönläpäisevyyteen vaikuttaa rakennekerrosten paksuuden ja homogeenisuuden ohella kylmäsillat ja eristeen kosteus. Kosteus huonontaa lämmöneristeen eristävyysominaisuuksia oleellisesti: jo 1,5 tilavuusprosentin kosteus eristeessä johtaa 50 % suurempiin johtumishäviöihin verrattuna kuivaan rakenteeseen. Epäjatkuvuuskohdista kriittisimpiä ovat elementtien saumat sekä ikkunoiden ja seinärakenteiden liitokset. Elementtien vaakasaumojen kohdalla lämmöneristeen kasaan painuminen saattaa muodostaa kylmäsillan sauman kohdalle sekä ikkunoiden ja seinärakenteiden liitokset saattavat olla huonosti tiivistettyjä. Molemmista aiheutuu johtumishäviöitä, mutta niiden vaikutus on melko pieni niiden vähäisen pinta-alan takia koko rakenteen pinta-alaan nähden. Ilmavuodot rakennuksen vaipan läpi aiheuttavat muun muassa ylimääräistä energiankulutusta, kosteuden kertymistä rakenteisiin ja epäviihtyisyyttä. (Taivalantti 1997; Lappalainen 2010)

Ikkunoiden kautta poistuu lämpöenergiaa, mutta niiden kautta saadaan auringon säteilyenergiaa. Säteilyenergian suuruus riippuu ikkunan suuntauksesta ja vuodenajasta: etelään suunnatuiden ikkunoiden kautta saadaan eniten auringon säteilyenergiaa ja kesäisin säteilyenergia on suurimmillaan. Ikkunoiden ja ovien huono tiiveys aiheuttaa ilmavuotoja rakenteiden läpi, jotka voivat olla suuruudeltaan jopa 90 % rakennuksen ilmavuodoista. Karmin ja seinärakenteen välistä tapahtuvien ilmavuotojen lisäksi vuotoja voi tapahtua myös ikkunan ja karmin sekä oven ja karmin liitoksen kautta. (Lappalainen 2010)

2.4.2 Lämmin käyttövesi

Veden kulutus kerrostalossa asukasta kohden on keskimäärin 155 litraa vuorokaudessa, josta noin 39 % kuluu peseytymiseen, 26 % wc:n käyttöön, 22 % keittiöön ja 13 % pyykin pesuun. Veden kulutus vaihtelee kuitenkin riippuen käyttötavoista ja -ajoista, erilaisesta varustelutasosta sekä rakennuksen iästä. Veden kokonaiskulutuksella on huomattava vaikutus rakennuksen lämmönkulutukseen: kun vedenkulutus kaksinkertaistuu, rakennuksen lämmitysenergian kulutus kasvaa jopa 10–20 %. Veden kulutus voi vaihdella välillä 60 – 270 litraa asukasta kohden vuorokaudessa. (Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö 2009; Lappalainen 2010)

Kuvien 2.2 ja 2.3 mukaan asuinkerrostalon lämpimän käyttöveden osuus lämmönkulutuksesta on noin 25 – 40 %. Lämpimän käyttövesijärjestelmän energiankulutusta lisää kulutetun veden lämmittämisen lisäksi muun muassa käyttöveden putkiston ja kiertojohdon, kiertovesipumpun ja lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöt sekä kosteiden tilojen lämmitys. Veden kulutuksen vähentämiseen ja sitä kautta lämmitysenergian säästön vaikuttavia toimenpiteitä ovat esimerkiksi vesilaitteiston paineen ja vesikalusteiden virtaamien säätö, lämpimän käyttöveden lämpötilan asetus, kiertojohdon virtaaman mitoitus, sekä WC-laitteiden ja muiden vesikalusteiden huolto. Asukkaiden käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa toistuvalla tiedotuksella sekä huoneistokohtaisella vedenkulutuksen mittauksella ja laskutuksella. (Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö 2009)

2.4.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoitus on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia, kosteutta ja liiallista lämpöä sekä huolehtia puhtaan korvausilman saannista. Epäpuhtauksia syntyy muun muassa ihmisten aineenvaihdunnasta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista sekä asumisen erilaisista toiminnoista. Ilmanvaihtojärjestelmiä ovat painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. 1960-luvulle saakka asuinkerrostaloihin rakennettiin painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen alkoi 1950-luvulla ja 1960-luvulta lähtien se on ollut asuinkerrostalojen tyypillinen ilmanvaihtojärjestelmä. Koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää alettiin rakentaa 1990-luvulla. (Asumisterveysohje 2003; Kerrostalot 2006; Lappalainen 2010)

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ulko- ja sisäilman tiheyseroista johtuva paine-ero ja tuulesta johtuva paine-ero aiheuttavat ilman virtauksen ulos rakennuksesta. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa poistoilmapuhallin imee poistoilmaa poistoilmaventtiilien kautta ilmavaihtokanaviin. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma otetaan rakoventtiilien tai ikkunoiden kautta ja rakennuksen vuotokohdista. Tuloilmavirtaa on vaikea hallita, jolloin saattaa syntyä vetoa. Koneellisen poistoilmanvaihdon ongelmana on suuri lämmönkulutus, koska talvella poistoilman mukana kulkeutuvaa lämpöä ei saada talteen. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa sekä tuloilmaa että poistoilmaa ohjataan puhaltimilla, joten ilmanvaihtojärjestelmä on hallittu. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään voidaan liittää lämmöntalteenottolaitteisto, jolloin tuloilman lämmityksessä voidaan hyödyntää poistoilman lämpöä. (Kiinteistöjen energiatalous 1980; Holopainen et al. 2007; Kerrostalot 2006; Lappalainen 2010)

Puutteellinen ilmanvaihto saa aikaan huoneen hiilidioksidipitoisuuden kohoamisen, joka voi aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä ja päänsärkyä, kun taas liian suuri tai kylmä tuloilma voi aikaansaada vetoa. Ilmanvaihdon kautta tapahtuviin häviöihin vaikuttaa ilmavirtojen suuruus, vallitseva lämpötilaero, ilmanvaihtolaitteiden käyttöaika ja mahdollinen poistoilman lämmöntalteenotto. (Energiansäästämähdollisuudet 2000;

Asumisterveysohje 2003) Kuvien 2.2 ja 2.3 mukaan ilmanvaihdon osuus asuinkerrosta-lon lämmönkulutuksesta on arviolta 30 – 35 %.

Kohteissa, joissa on tehty korjauksia tai perusparannuksia, on tärkeää tehdä tarvittavat muutokset lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien säätöihin. Esimerkiksi ulkoseinä- ja ikkunarakenteiden perusparantamisen jälkeen huonelämpötila saattaa nousta ja ilmanvaihto toimia puutteellisesti. Jos ulkoseinien lämmöneristävyys on parempi ja ikkunarakenteet ovat tiiviimpiä, huoneen lämpötila nousee ja mahdollinen vedon tunne vähenee, jolloin huonelämpötila saattaa nousta liiankin korkeaksi. Jos korvausilma on ennen perusparannusta otettu ikkunoiden kautta, uudet tiiviimmät ikkunat eivät välttämättä anna tarpeeksi korvausilmaa, jolloin huoneilma saattaa muuttua tunkkaiseksi. Tämän vuoksi asukkaat saattavat tuulettaa enemmän, jolloin perusparantamisella ei välttämättä saada aikaiseksi tavoiteltua energiansäästöä. Huonelämpötilan ohjeellisena arvona voidaan pitää 21 °C:n lämpötilaa. Yhden asteen nousu sisälämpötilassa ylöspäin vastaa noin 5 %:n nousua lämmitysenergian kulutuksessa. (Taivalantti 1997; Energiansäästömahdollisuudet 2000; Asumisterveysohje 2003)

3 MITTAUSAINEISTON KUVAUS

3.1 Yleistä

Mittausaineisto koostuu kaiken kaikkiaan 727 kiinteistöstä, joista asuinkerrostalokiinteistöjä on 716 kappaletta ja asuinliiketalokiinteistöjä on 11 kappaletta. Kaikilla kiinteistöillä on lämmitysmuotona kaukolämpö. Kiinteistöt sijaitsevat ympäri Suomea ja niiden valmistumisvuodet sijoittuvat 1900 -luvun alkupuolelta 2000-luvun alkupuolelle. Taulukossa 3.1 on kiinteistöjen jaottelu sijainnin mukaan ja taulukossa 3.2 valmistusajankohdan mukaan.

Taulukko 3.1. Kiinteistöjen jaottelu paikkakunnittain.

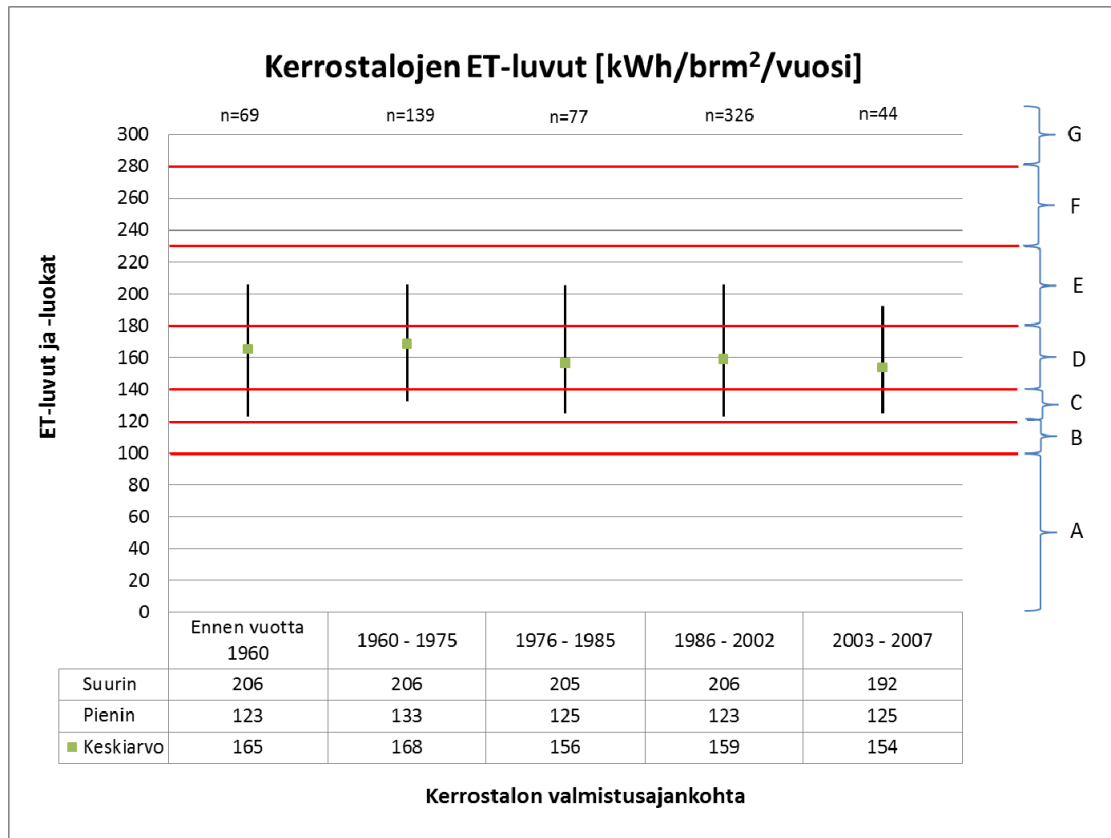
| Kaupunkien jaottelu | Kiinteistöt [kpl] |
|--|-------------------|
| Helsinki, Espoo, Kauniainen, Kirkkonummi | 147 |
| Vantaa, Kerava, Porvoo, Järvenpää, Nurmijärvi, Lohja | 172 |
| Turku, Salo, Raisio, Pori, Rauma | 40 |
| Hämeenlinna, Lahti, Heinola, Hyvinkää, Riihimäki | 86 |
| Kouvola, Kotka, Lappeenranta, Mikkeli, Imatra | 62 |
| Tampere, Pirkkala | 67 |
| Jyväskylä, Tikkakoski | 38 |
| Joensuu, Kuopio, Pieksämäki, Siilinjärvi | 44 |
| Oulu, Rovaniemi, Kemi | 71 |
| Yhteensä | 727 |

Taulukko 3.2. Kiinteistöjen jaottelu valmistumisvuoden mukaan.

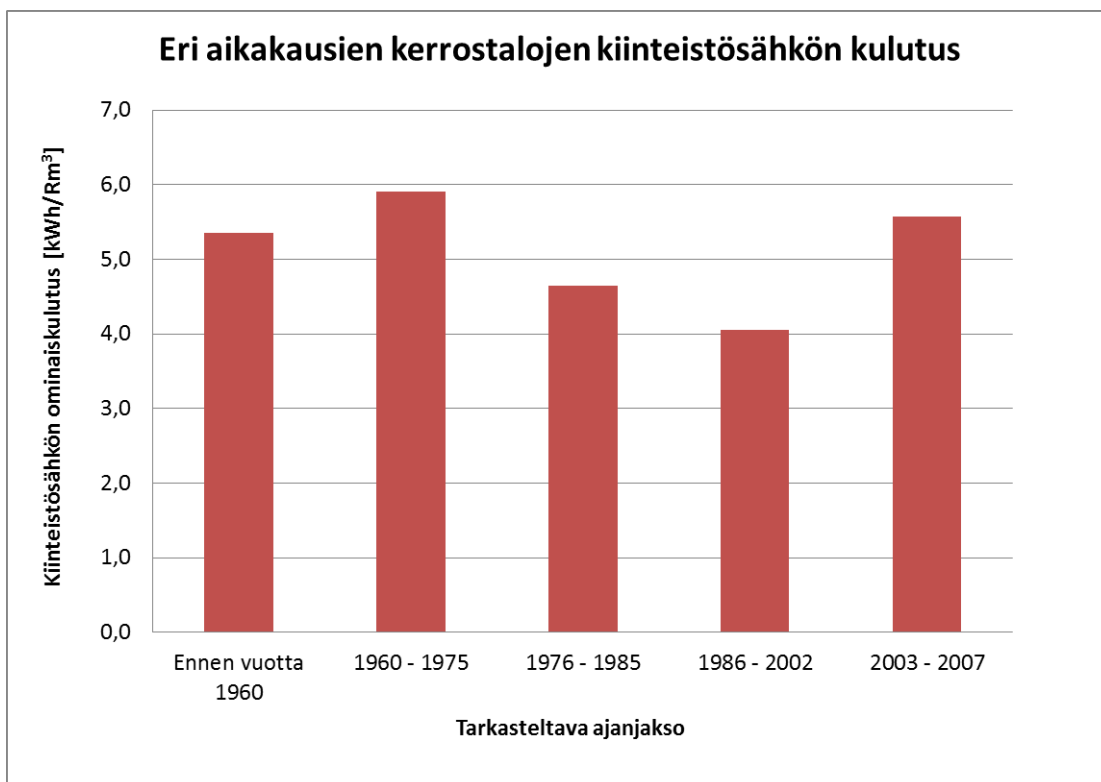
| Valmistumisvuosi | Kiinteistöt [kpl] |
|------------------|-------------------|
| 1910-luku | 2 |
| 1920-luku | 4 |
| 1930-luku | 4 |
| 1940-luku | 21 |
| 1950-luku | 52 |
| 1960-luku | 27 |
| 1970-luku | 155 |
| 1980-luku | 82 |
| 1990-luku | 251 |
| 2000-luku | 129 |

Kiinteistöistä on mitattu niiden lämmitysenergian, kaukolämpöveden, kiinteistösähkön ja veden kulutus. Kuvassa 3.1 on koko aineiston sisältämien kerrostalokiinteistöjen energiatehokkuusluvut ja -luokat. Kuvassa 3.2 on eri ajanjaksoina valmistuneiden kiinteistöjen kiinteistösähkön ominaiskulutuksen keskiarvo ja kuvassa 3.3 veden ominaiskulutuksen keskiarvo. Aineistosta on jätetty tarkastelun ulkopuolelle energiatehokkuuslu-

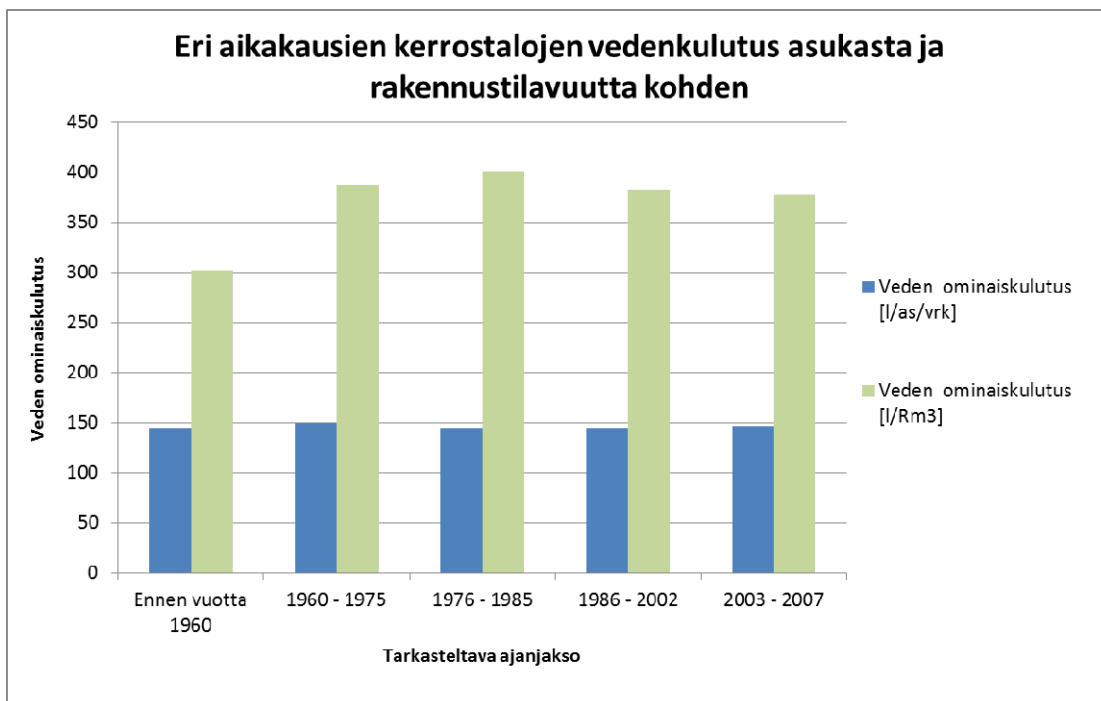
kujen, sähkönkulutuksen sekä vedenkulutuksen pienimmät 5 % ja suurimmat 5 %. Kiinteistöjen jaottelu kuvissa on tehty niiden lämmöneristystason mukaan.



Kuva 3.1. Aineiston eri ajanjaksoina valmistuneiden kerrostalojen energiatehokkuusluvut.



Kuva 3.2. Eri ajanjaksoina valmistuneiden kerrostalojen kiinteistösähkön ominaiskulutuksen [kWh / Rm^3] keskiarvo aineistossa.



Kuva 3.3. Eri ajanjaksoina valmistuneiden kerrostalojen veden keskimääräiset ominaiskulutukset aineistossa.

Kuvasta 3.1 nähdään, että kaikilla ajanjaksoilla kerrostalot kuuluvat keskimäärin energiatehokkuusluokkaan D. Selkeää eroa eri vuosikymmenillä valmistuneiden kerrostalojen energiatehokkuuslukujen välillä ei ole, vaan niiden keskiarvo on lähes sama. Kuvan 3.2 mukaan kiinteistösähkön ominaiskulutus on suurin vuosien 1960 – 1975 välisenä aikana valmistuneissa kerrostaloissa, mutta ominaiskulutus on lähes yhtä suuri vuosien 2003 – 2007 välisenä aikana valmistuneissa kerrostaloissa. Kuvan 3.3 mukaan veden ominaiskulutus rakennuskuutiometriä kohden on samaa luokkaa vuosien 1960 – 2007 välisenä aikana valmistuneissa kerrostaloissa ja huomattavasti vähemmän ennen vuotta 1959 valmistuneissa kerrostaloissa. Veden ominaiskulutus henkilöä kohden on suurinta vuosien 1960 – 1975 luvun kiinteistöissä, joissa se on noin 149 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. Muiden ajanjaksojen kerrostaloissa kulutus vaihtelee noin 145 – 147 litran välillä henkilöä kohden vuorokaudessa. Veden ominaiskulutus henkeä kohden vuorokaudessa on aineiston kiinteistöillä pienempi kuin kerrostalojen keskimääräinen kulutus, joka on 155 litraa asukasta kohden vuorokaudessa (Lappalainen 2010).

3.2 Kerrostalokohteet

Tutkimusta varten aineistosta valittiin kerrostalokohteita eri vuosikymmeniltä, alkaen 1960-luvulta ja päättyen 1990-luvun alkuun. Valinnan tärkein kriteeri oli, että kohteita saatiin eri lämmöneristysmääräysten aikakausilta, jolloin on mahdollista arvioida myös lämmöneristepaksuuden vaikutusta energian- ja lämmönkulutukseen. Kohteita päätettiin valita kuusi kappaletta, 60-luvun lopulta, 70-luvun alku- ja loppupuolelta, 80-luvun alku- ja loppupuolelta sekä 90-luvun alusta. Taulukossa 3.3 on lämmöneristeen suunnittelupaksuudet eri ajanjaksoina sekä aineiston sisältämät kiinteistöt kyseisinä ajanjaksoina.

Taulukko 3.3. *Lämmöneristeen suunnittelupaksuudet eri aikakausina (Lahdensivu & Hilliäho 2010) ja mittausaineistossa olevien kiinteistöjen kappalemäärät.*

| Valmistumisvuosi | Lämmöneristeen suunnittelupaksuus [mm] | Kiinteistöt [kpl] |
|------------------|--|----------------------|
| 1960-1975 | 90 | 150 |
| 1976-1985 | 120 | 87 |
| 1986-2002 | 140 | 374 |

Koska kohteiden lämmitysenergiankulutus muunnetaan vastaamaan Jyväskylän normaallivuoden lämmitystarvelukua, niiden sijainnilla ei ole merkitystä energiankulutuksen laskennassa. Tämän vuoksi kohteet on valittu sen perusteella, että niiden arkkitehtipiirustusten ja muiden suunnitelmien saatavuus on yksinkertaista. Tampereelta ei löytynyt kaikkia kohteita eri aikakausilta, joten osa kohteista on valittu Helsingistä ja Järvenpäästä. Muuten kohteet on valittu sattumanvaraisesti. Tampereelta on yhteensä neljä kohdetta, Helsingistä yksi ja Järvenpäästä yksi kohde.

Kohteiden kulutustiedot ovat vuodelta 2008. Energiatehokkuusluvun laskentaa varten on kohteiden lämmitysenergiankulutus muunnettava vastaamaan Jyväskylän normaali-vuoden lämmitystarvelukua, jolloin eri paikkakunnilla sijaitsevien kohteiden energiatehokkuusluvut ovat vertailukelpoisia keskenään. Lämmitystarvelukukorjattu energianku-lutus lasketaan kaavalla 3.1.

$$Q_{\text{lämm,norm}} = k_2 \cdot \frac{S_{\text{nvpkunta}}}{S_{\text{toteutunutvpkunta}}} \cdot (Q_{\text{lämmitys}} - Q_{\text{lkv}}) + Q_{\text{lkv}} \quad (3.1)$$

missä

| | |
|--------------------------------|--|
| $Q_{\text{lämm,norm}}$ | lämmitystarvelukukorjattu energiankulutus, kWh |
| k_2 | paikkakuntakohtainen korjauskerroin Jyväskylään |
| S_{nvpkunta} | normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla |
| $S_{\text{toteutunutvpkunta}}$ | toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla |
| $Q_{\text{lämmitys}}$ | toteutunut lämmitysenergian kulutus, kWh |
| Q_{lkv} | lämpimän käyttöveden energiankulutus, kWh. (A 19.6.2007/765) |

Kohteiden energian- ja lämmönkulutuksen laskentaa varten tarvitaan muun muassa:

- Julkisivupiirustukset ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien pinta-alojen laskemiseen.
- Pohjapiirustukset bruttopinta-alan sekä ala- ja yläpohjan pinta-alan laskemiseen.
- Rakennepiirustukset tai rakennusselostus ulkoseinä-, yläpohja- ja alapohjaraken-teiden rakennetyyppien selvittämiseen.
- Muita tietoja, kuten ilmanvaihtokertoimen suuruus ja autopaikkojen lukumäärä.

Taulukossa 3.4 on perustietoja valituista kohteista ja taulukossa 3.5 on kohteiden kulu-tustietoja vuodelta 2008. Ominaislämmitysenergian kulutus on muunnettu vastaamaan Jyväskylän normaalivuoden lämmitystarvelukua.

Taulukko 3.4. Kohteiden tietoja.

| | Rakennus-vuosi | Sijainti | Rakennus-tilavuus [Rm ³] | Kerrosala [m ²] | Asukas-luku | Ulkoseinärakenteen lämmöneristeen paksuus [mm] |
|---------|----------------|-----------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| Kohde 1 | 1965 | Helsinki | 4875 | 1 074 | 31 | 50 |
| Kohde 2 | 1974 | Tampere | 15030 | 3 425 | 98 | 90 |
| Kohde 3 | 1978 | Tampere | 19990 | 4 452 | 137 | 120 |
| Kohde 4 | 1981 | Tampere | 7780 | 1 900 | 56 | 120 |
| Kohde 5 | 1989 | Järvenpää | 3770 | 910 | 29 | 140 |
| Kohde 6 | 1992 | Tampere | 17150 | 4 158 | 114 | 140 |

Kohteessa 3 ja kohteessa 6 on kaksi asuinkerrostaloa ja muissa kohteissa yksi. Lisäksi kohteessa 3 sijaitsee arkkitehtipiirustusten mukaan päiväkot, mutta tilan nykyisestä käytöstä ei ollut täyttä varmuutta. Kohteesta saatiin kuitenkin selville, että päiväkodin tiloissa sijaitsee nykyisin ammattiopisto. Taulukosta 3.4 huomataan, että kohteella 1 on

ulkoseinässä vähemmän lämmöneristettä kuin taulukon 3.3 mukainen lämmöneristeen suunnittelupaksuus. Kohteesta 1 oli arkkitehtisuunnitelmien lisäksi muistio kiinteistö-katselmuksesta, jonka mukaan ulkoseinärakenteen lämmöneristyspaksuudeksi oli arvi-
oitu olevan 75 mm. Energiankulutuslaskelmat on kuitenkin tehty arkkitehtisuunnitelmi-
en tietojen mukaisesti eli lämmöneristepaksuutena on laskelmissa käytetty arvoa 50
mm.

Taulukko 3.5. Kohteiden kulutustietoja vuodelta 2008.

| Kohde | Lämmitys- energian kulutus [MWh] | Lämmitys- tarveluku- korjattu energian kulutus [MWh] | Kiinteistö- sähkön kulutus [kWh] | Veden kulutus [m ³] | Ominais- lämmitys- energian kulutus [kWh/Rm ³] | Kiinteistö- sähkön ominais- kulutus [kWh/Rm ³] | Veden ominais- kulutus [l/as/vrk] | Veden ominais- kulutus [l/Rm ³] |
|----------|---|---|---|---------------------------------------|--|--|--|--|
| 1 (1965) | 207 | 294 | 15 514 | 1 694 | 60 | 3,2 | 150 | 347 |
| 2 (1974) | 571 | 678 | 78 416 | 6 000 | 45 | 5,2 | 168 | 399 |
| 3 (1978) | 830 | 996 | 75 228 | 7 310 | 50 | 3,8 | 146 | 366 |
| 4 (1981) | 281 | 326 | 31 318 | 3 755 | 42 | 4,0 | 184 | 483 |
| 5 (1989) | 139 | 177 | 18 616 | 1 591 | 47 | 4,9 | 150 | 422 |
| 6 (1992) | 690 | 817 | 79 499 | 7 388 | 48 | 4,6 | 178 | 431 |

Taulukosta 3.5 nähdään, että kohteella 1 on suurin ja kohteella 4 pienin ominaislämmi-
tysenergian kulutus. Muiden kohteiden ominaislämmitysenergian kulutukset ovat lähes
samansuuruiset. Taulukon 3.5 ja kuvan 3.2 perusteella kohteen 1 kiinteistösähkön oimi-
naiskulutus on selkeästi alhaisempi kuin samaan ikäluokkaan kuuluvilla kerrostaloilla.
Muiden kohteiden kiinteistösähkön kulutus on lähellä samaan ajanjaksoon kuuluvien
kerrostalojen keskiarvoisen kulutuksen kanssa. Kohteista suurin kiinteistösähkön oimi-
naiskulutus on kohteella 2 ja pienin kohteella 1.

Veden ominaiskulutus asukasta kohden vuorokaudessa on noin 155 litraa (Lappalainen
2010). Taulukon 3.5 mukaan kohteen 4 veden ominaiskulutus on huomattavasti yli kes-
kiarvon. Kohteilla 2 ja 6 kulutus on myös yli keskiarvon, mutta muilla kohteilla veden
ominaiskulutus henkeä kohden on alle keskiarvon. Vertaamalla taulukon arvoja kuvaan
3.3 nähdään, että kohteiden 2, 4 ja 6 veden ominaiskulutus henkeä kohden on suurempi
kuin aineiston samaan ajanjaksoon kuuluvien kerrostalojen. Veden ominaiskulutus on
suurinta kohteella 4. Veden ominaiskulutus henkeä kohden vuorokaudessa on pienintä
kohteella 3 ja kulutus rakennuskuutiometriä kohden on pienintä kohteella 1.

3.3 Perustietojen laskenta

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmönkulutuksen laskennassa tarvittavat pinta-
alat lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) oh-
jeiden mukaisesti:

- Rakennuksen bruttopinta-alaan lasketaan kaikki kerrostasojen kerrostasoalat ulkoseinien ulkopintojen mittojen mukaisesti. Bruttopinta-alaan lasketaan ainoastaan lämmitettyjen tilojen osuus.
- Alapohjan pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaan. Pinta-alasta ei vähennetä aukkojen, rakenteiden tai läpivientien pinta-aloja.
- Yläpohjan pinta-ala lasketaan ulkoseinien sisämittojen mukaan. Pinta-alasta vähennetään kattoikkunoiden pinta-alat, mutta siitä ei vähennetä läpivientien pinta-aloja.
- Ulkoseinien pinta-alat lasketaan sisämittojen mukaan lattiapinnasta yläpohjan alapintaan. Pinta-alasta vähennetään ikkunoiden ja ovien pinta-alat.
- Ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan. (RakMK: D5 2007)

Kaikista kohteista löytyi tarvittavat arkkitehti-, rakennesuunnitelmat sekä muut asiakirjat, mutta pinta-alojen laskennan tarkkuus vaihteli kohteittain: osassa kohteita oli riittävästi mittatietoja ja osassa rakennusosien mittoja täytyi mitata piirustuksista. Vanhemmissa kohteissa joistakin rakennetyypeistä ei ollut tarkkaa kuvausta tai mitoitusrakennekerrosten paksuuksista, jolloin joitakin rakennepaksuuksia on jouduttu arvioimaan mittaamalla. Ikkunoiden pinta-alat jaotellaan ilmansuunnittain, koska laskennassa selvitetään auringon lämpösäteilyn vaikutus. Kiinteistösähkön laskentaa varten on laskettava asuntojen ulkopuolisten tilojen bruttopinta-ala. Taulukossa 3.6 on kohteiden suunnitelmista lasketut pinta-alat.

Taulukko 3.6. Pinta-aloja.

| Kohde | Brutto-pinta-ala [m ²] | Ikkunat [m ²] | Ovet [m ²] | Ulkoseinät [m ²] | Yläpohja [m ²] | Alapohja [m ²] |
|----------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 (1965) | 1 728 | 220 | 51 | 722 | 320 | 316 |
| 2 (1974) | 5 221 | 583 | 143 | 2 270 | 799 | 847 |
| 3 (1978) | 6 941 | 680 | 227 | 3 491 | 1 150 | 1 181 |
| 4 (1981) | 2 684 | 234 | 99 | 1 182 | 353 | 358 |
| 5 (1989) | 1 243 | 138 | 42 | 579 | 374 | 374 |
| 6 (1992) | 6 002 | 557 | 168 | 2 825 | 787 | 792 |

Joitakin rakenteiden ja rakennusosien U-arvoja on saatu kohteiden suunnitelma-asiakirjoista ja osa on selvitetty vanhojen lämmöneristysmääräysten (Paloniitty 2010) perusteella. Loput kohteiden U-arvoista on laskettu. U-arvojen laskennassa on noudatettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 (RakMK: C4 2003) ja D5 (RakMK: D5 2007) ohjeita. Rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytetään osan D5 ohjeiden mukaan laskettua U-arvoa alapohjalle, mutta muiden rakennusosien U-arvot lasketaan osan C4 mukaan. Osan D5 mukainen alapohjan U-arvo lasketaan vain maanvastaiselle alapohjalle ja se poikkeaa osan C4 ohjeiden mukaisesta U-arvosta siten, että laskennassa ei huomioida alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta. Taulukossa 3.7 on eri rakennusosien U-arvoja.

Taulukko 3.7. U-arvoja.

| Kohde | Ikkunat | Ulkoseinät | Yläpohja | Alapohja, C4 | Alapohja, D5 |
|----------|---------|------------|----------|-----------------|-----------------|
| 1 (1965) | 2,1 | 0,54 | 0,60 | 0,44 | 3,36 |
| 2 (1974) | 1,4 | 0,43 | 0,28 | 0,45 | 4,15 |
| 3 (1978) | 2,1 | 0,34 | 0,28 | 0,44 | 3,34 |
| 4 (1981) | 2,1 | 0,35 | 0,29 | 0,40 | 0,70 |
| 5 (1989) | 2,1 | 0,27 | 0,20 | 0,22 | 0,22 |
| 6 (1992) | 1,8 | 0,28 | 0,15 | 0,30 | 0,70 |

Taulukosta 3.7 nähdään, että alapohjan U-arvo on suurempi laskettaessa osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeiden mukaan. U-arvojen ero johtuu siitä, että osan D5 ohjeet eivät huomioi alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta maanvastaisella alapohjalla. Kohteella 5 sen sijaan on ryömintätilaan rajoittuva alapohja, joten sen U-arvo lasketaan osan C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden mukaisesti.

4 RAKENNUKSEN ENERGIAANKULUTUS JA ENERGIAATEHOKKUUSLUKU

4.1 Rakennuksen energiankulutuksen laskenta

Rakennuksen energiankulutuksen laskentaan suurilla asuinrakennuksilla voidaan käyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D5, soveltuvia SFS-EN standardeja tai muita laskentamenetelmiä. (A 19.6.2007/765) Rakennuksen energiankulutuksen laskentaan on tässä työssä käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeita. Laskentamenetelmäksi valittiin kyseiset ohjeet, koska niiden lisäksi laskennan apuna voitiin käyttää Ympäristöministeriön julkaisemaa energiatodistusopasta (Energiatodistusopas 2009), jonka sisältämä esimerkki asuinkerrostalon energiankulutuksen laskennasta noudattaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeita.

Laskennan menetelmänä käytetään energiatasemenetelmää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti, jossa rakennuksen energiankulutus lasketaan kuukausittain ja vuotuinen energiankulutus saadaan kuukausikulutusten summana. Energiasemenetelmässä oletetaan, että rakennukseen sisälle tuleva energiamäärä on yhtä suuri kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Menetelmä ottaa huomioon oleellimmat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät ja rakennuksen ominaisuudet Suomen olosuhteissa. (RakMK: D5 2007)

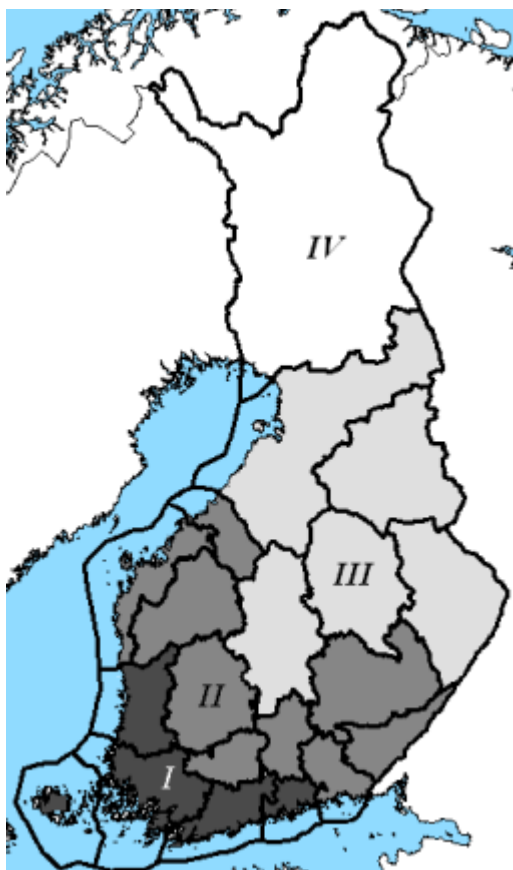
4.1.1 Laskennan suoritus

Laskenta on suoritettu käyttäen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeita valittujen kerrostalokohteiden ominaisuuksien mukaan, jolloin laskennassa ei oteta huomioon esimerkiksi lämmöntalteenottoa eikä jäähdytysenergiankulutusta, koska ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto ja jäähdytysjärjestelmää ei ole. Laskenta suoritetaan seuraavassa järjestyksessä:

1. Vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöenergioiden laskenta
2. käyttöveden lämmitystarpeen laskenta
3. lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergioiden laskenta
4. kiinteistösähkönkulutuksen laskenta
5. lämpökuormien laskenta
6. lämmitysenergiankulutuksen laskenta
7. rakennuksen energiankulutuksen laskenta. (RakMK: D5 2007)

Käyttöveden lämmitystarve, tilojen lämmitystarve ja sähköenergiantarve muodostavat rakennuksen energiantarpeen, joka katetaan järjestelmien siirtämän lämpöenergian ja sähköenergian lisäksi rakennukseen tulevilla lämpökuormilla. Rakennuksen energiankulutukseen kuuluvat järjestelmien siirtämä lämpö- ja sähköenergia sekä järjestelmien häviöt. (RakMK: D5 2007)

Jotta eri puolella Suomea sijaitsevien rakennusten laskennalliset energiankulutukset saadaan vertailukelpoiseksi keskenään, niiden energiankulutus on laskettava Jyväskylän säätietojen mukaisesti. Laskennallista ja toteutunutta energiankulutusta vertailtaessa on toteutunut energiankulutus suhteutettava Jyväskylän säähän. Jyväskylä kuuluu säävyöhykkeeseen III, joten energiankulutuksen laskennassa käytetään ulkoilman lämpötilana säävyöhykkeen III mukaisia kuukausittaisia ulkoilman keskilämpötiloja. Säävyöhykkeen III tiedoista saadaan myös normitukseen käytettävät lämmitystarveluvut ja auringon kokonaissäteilyenergiat eri ilmansuuntiin. Kuvassa 4.1 on säävyöhykkeiden jaottelu.



Kuva 4.1. Säävyöhykkeet (RakMK: D5 2007).

Jos rakennuksen lämmitettyjen tilojen lämpötilat ovat lähes samat ja lämpökuormat ovat joko kohtuullisen pieniä tai tasaisesti jakautuneita koko rakennuksessa, voidaan rakennus laskea yhtenä tilana. Jos rakennus sisältää käyttötarkoitukseltaan toisistaan poikkeavia tiloja, esimerkiksi asuntoja ja puolilämpimiä varastotiloja, on tilojen energianku-

lutus laskettava erikseen. Tällöin koko rakennuksen energiankulutus saadaan laskemalla yhteen tilakohtaiset arvot. (RakMK: D5 2007)

4.1.2 Vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöenergioiden laskenta

Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergia saadaan rakenteiden läpi johtuvan, vuotoilman lämmityksen tarvitseman ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian yhteenlaskettuna arvona. Vaipan läpi johtuvan lämpöenergian määrään vaikuttaa rakenneosien pinta-alat ja niiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot. Rakenteiden läpi johtuva energia lasketaan erikseen joka rakennusosalle: ulkoseinille, yläpohjalle, alapohjalle, ikkunoille ja ulko-oville. Maanvastaisten seinien U-arvon laskennassa otetaan huomioon maan lämmönvastus, joten seinän läpi johtuva energia lasketaan ulkoilman lämpötilaan. Maanvastaisen alapohjan kautta johtuvan energian laskennassa ulkolämpötilan sijaan käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti ja tällöin alapohjan U-arvon laskennassa ei oteta huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta. Vaipan läpi johtuva lämpöenergia lasketaan kaavalla 4.1. Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti.

$$Q_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4.1)$$

missä

| | |
|------------------------|--|
| Q_{joht} | rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh |
| $\sum H_{\text{joht}}$ | rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W / K |
| T_s | sisäilman lämpötila, °C |
| T_u | ulkoilman lämpötila, °C |
| Δt | ajanjakson pituus, h |
| 1000 | kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi. (RakMK: D5 2007) |

Rakenteiden epätiiveydestä aiheutuu vuotoilman virtauksia, jotka syntyvät tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamista paine-eroista. Vuotoilmavirran suuruuteen vaikuttaa muun muassa rakennuksen vaipan ilmanpitävyys. Jos rakennuksen ilmanpitävyyttä ei tunneta, voidaan ilmapuotolukuna käyttää arvoa $n_{50} = 4 \text{ l} / \text{h}$, joka asuinkerrostalossa tarkoittaa heikkoa ilmanpitävyyttä. Taulukossa 4.1 on tyypillisiä vaipan ilmapuotolukuja asuinkerrostaloille. Kun lasketaan vuotoilmakerroin, vuotoilmavirta ja vuotoilman ominaislämpöhäviö Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti, saadaan vuotoilman lämmittämiseen tarvittava energia kaavalla 4.2.

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4.2)$$

missä

| | |
|------------------------|--|
| $Q_{\text{vuotoilma}}$ | vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
|------------------------|--|

| | |
|------------------------|--|
| $H_{\text{vuotoilma}}$ | vuotoilman ominaislämpöhäviö, W / K |
| T_s | sisäilman lämpötila, °C |
| T_u | ulkoilman lämpötila, °C |
| Δt | ajanjakson pituus, h |
| 1000 | kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi. (RakMK: D5 2007) |

Taulukko 4.1. Tyypillisiä asuinkerrostalon vaipan ilmapuotolukuja (RakMK: D5 2007).

| Tavoiteilmanpitävyys | Tyypillinen n_{50} -luku [1/h] |
|----------------------|----------------------------------|
| Hyvä | 0,5 ... 1,5 |
| Keskimääräinen | 1,5 ... 3,0 |
| Heikko | 3,0 ... 7,0 |

Ilmanvaihdon ilmapuotana käytetään suunniteltua käyttöajan tehostamatonta ilmapuotaa. Jos ilmapuotaa ei tunneta, voidaan keskimääräisenä ominaisilmapuotana käyttää $0,35 - 0,50 \text{ (dm}^3 / \text{s) / m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 - 0,7 \text{ l / h}$. Laske-
malla ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti, saadaan laskettua ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia kaavalla 4.3.

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t) / 1000 \quad (4.3)$$

missä

| | |
|------------|--|
| Q_{iv} | ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
| H_{iv} | ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W / K |
| T_s | sisäilman lämpötila, °C |
| T_u | ulkoilman lämpötila, °C |
| Δt | ajanjakson pituus, h |
| 1000 | kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi. (RakMK: D5 2007) |

4.1.3 Käyttöveden lämmitystarpeen laskenta

Lämpimän käyttöveden kulutus asuinrakennuksessa riippuu henkilöiden lukumäärästä ja siitä, onko kohteessa käytössä huoneistokohtainen vedenkulutuksen mittausta ja laskutus. Kun huoneistokohtaista mittausta ja laskutusta ei ole, on lämpimän käyttöveden ominaiskulutus henkilöä kohden 60 litraa vuorokaudessa. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia sisältää kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan lämmitetyn kulutetun lämpimän käyttöveden. Se ei kuitenkaan sisällä mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa. Lämpimän käyttöveden kulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti, jonka avulla saadaan laskettua käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia, eli nettoenergian tarve, kaavalla 4.4. Lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ($T_{lkv} - T_{kv}$) käytetään arvoa 50 °C.

$$Q_{\text{lkv, netto}} = \rho_v \cdot c_{\text{pv}} \cdot V_{\text{lkv}} (T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}) / 3600 \quad (4.4)$$

missä

| | |
|-------------------------|---|
| $Q_{\text{lkv, netto}}$ | käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh |
| ρ_v | veden tiheys, 1000 kg / m ³ |
| c_{pv} | veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ / kgK |
| V_{lkv} | lämpimän käyttöveden kulutus, m ³ |
| T_{lkv} | lämpimän käyttöveden lämpötila, °C |
| T_{kv} | kylmän käyttöveden lämpötila, °C |
| 3600 | kerroin, jolla tehdään laatumuunnos kilowattitunneiksi, s / h. (RakMK: D5 2007) |

4.1.4 Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergioiden laskenta

Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergioihin kuuluvat tilojen lämmitysjärjestelmän sekä käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat. Tilojen lämmitykseen sisältyvät huonetilojen lämmitys ja ilmanvaihdon lämmitys. Lämmitysjärjestelmään tuodun lämpöenergian ja lämmityksen lämpöenergiatarpeen erotus muodostaa tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian. Se koostuu lämmön kehityksen, varastoinnin, siirron, luovuttamisen ja säätöjärjestelmän lämpöhäviöistä. Osa lämpöhäviöenergiasta saadaan hyödynnettyä rakennuksen lämmityksessä. Eri lämmitysjärjestelmien ominaislämpöhäviöt bruttopinta-alaa kohden saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5, joiden avulla voidaan laskea tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat kaavalla 4.5.

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}} \quad (4.5)$$

missä

| | |
|--|--|
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, kehityshäviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, jakeluhäviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, luovutushäviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimen (radiaattori, lattialämmitys) lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäviöt}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmän lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

Tilojen lämmityksen lämpöhäviöenergiaan sisältyy myös lämpimän käyttöveden lämmönkehityksen lämpöhäviöenergia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5

ohjeiden mukaisesti jakelu-, luovutus- ja säätöhäviöt jaetaan niiden vuosiarvosta eri kuukausille siten, että vuotuisesta lämpöhäviöenergiasta 60 % jakautuu marras-, joului-, tammi- ja helmikuulle, 30 % loka-, maalisi- ja huhtikuulle, sekä 10 % touko- ja syyskuulle. Kesäkuukausina ei tilojen lämmitysjärjestelmässä ole jakelu-, luovutus- ja säätöhäviöitä.

Käyttöveden lämmitysjärjestelmään tuodun lämpöenergian ja käyttöveden lämmityksen tarvitseman lämpöenergian erotus muodostaa käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian. Siihen lasketaan mukaan lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden, varaajien, kiertojohdon ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergiat. Osa lämpöhäviöenergiasta saadaan hyödynnettyä rakennuksen lämmityksessä. Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 4.6. (RakMK: D5 2007)

$$Q_{\text{lkv, häviöt}} = Q_{\text{lkv, kehityshäviöt}} + Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}} + Q_{\text{lkv, varaajahäviöt}} \quad (4.6)$$

missä

| | |
|---------------------------------|--|
| $Q_{\text{lkv, häviöt}}$ | käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kehityshäviöt}}$ | lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, varaajahäviöt}}$ | lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

Koska lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöenergiat sisältyvät yleensä lämmityskaudella tilojen lämmityksen kehityshäviöihin, niitä ei tarvitse erikseen laskea mukaan käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioihin. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia lasketaan kaavalla 4.7. Lämpimän käyttöveden kiertopiirin ominaislämpöhäviöenergia bruttopinta-alaa kohden saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5.

$$Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}} = Q_{\text{lkv, kiertohäviöt, omin}} A_{\text{br}} \quad (4.7)$$

missä

| | |
|--------------------------------------|--|
| $Q_{\text{lkv, kiertohäviöt}}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kiertohäviöt, omin}}$ | lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämmityksen tarvitsema ominaislämpöenergia, kWh / brm ² |
| A_{br} | rakennuksen bruttopinta-ala, brm ² . (RakMK: D5 2007) |

4.1.5 Kiinteistösähkönkulutuksen laskenta

Asuinkerrostaloissa sähköenergiankulutus muodostuu kiinteistösähkön kulutuksesta. Kiinteistösähkön kulutukseen lasketaan mukaan muun muassa talotekniikan pumppujen, puhaltimien, automaattikalaitteiden, kiinteistösaunojen, talopesulan ja hissien sähkönkulutus. Myös rakennuksen ulkopuolisen valaistuksen, asuntojen ulkopuolisen valaistuksen, lämmittämättömien tilojen valaistuksen, kohdelämmitysten ja asuntokohtaisten talotekniikkalaitteiden, kuten ilmanvaihtokoneiden, kuluttama sähkö lasketaan mukaan kiinteistösähkөөn. Kiinteistösähkönkulutukseen ei kuitenkaan lasketa mukaan lämmityksen sähkönkulutusta, koska se huomioidaan lämmitysenergiankulutuksessa. Myöskään asuntojen sähkönkulutusta ei lasketa mukaan kiinteistösähkөөn. Kiinteistösähkön kulutusta ei tarvitse laskea kuukausittain. (Energiatodistusopas 2009)

Kiinteistösähkön kulutus voidaan arvioida laiteryhmäkohtaisten ominaiskulutusten avulla Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti ja se laskeaan vuotuisena arvona. (Energiatodistusopas 2009) Ohjeiden avulla lasketaan asuinkerrostalon valaistusjärjestelmän, ilmanvaihtojärjestelmän ja kiinteistön muiden laitteiden sähkönkulutus seuraavalla tavalla:

- Valaistusjärjestelmän vuotuinen sähkönkulutus lasketaan asuntojen ulkopuolisten tilojen bruttopinta-alan perusteella, koska kiinteistösähkönkulutukseen ei kuulu asuntojen valaistusta.
- Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus lasketaan ilmanvaihtokoneen ominais-sähkötöhon, ilmavirran ja käyttöajan perusteella.
- Kiinteistön muiden laitteiden sähkönkulutus saadaan taulukosta. Muiden laitteiden sähkönkulutukseen on myös laskettu mukaan lämmitysjärjestelmän automaattikalaitteiden sähkönkulutus Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) esimerkin mukaisesti. (RakMK: D5 2007)

4.1.6 Lämpökuormien laskenta

Rakennukseen tulee lämpökuormia henkilöistä, lämmityslaitteista, sähkölaitteista, valaistuksesta ja ikkunoiden kautta tulevasta auringon säteilyenergiasta. Lämpökuorma-energiaa voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä, jos samanaikaisesti on lämmitystarvetta sekä säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. (Energiatodistusopas 2009) Henkilöiden luovuttama lämpöenergia Q_{henk} [kWh] laskeaan henkilöiden luovuttaman lämpötöhon ja oleskeluajan perusteella kaavalla 4.8. Yhden henkilön luovuttamana keskimääräisenä lämpötöhona voidaan käyttää arvoa 70 W. Oleskeluaika lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti.

$$Q_{\text{henk}} = \phi_{\text{henk}} n \Delta t_{\text{oleskelu}} / 1000 \quad (4.8)$$

missä

Q_{henk} henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh

| | |
|------------------------------|--|
| ϕ_{henk} | yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho, W / h |
| n | henkilöiden lukumäärä, - |
| $\Delta t_{\text{oleskelu}}$ | oleskeluaika, h |
| 1000 | kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi. (RakMK: D5 2007) |

Osa tilojen lämmitysjärjestelmän ja lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiosta sekä lämpimän veden käytön yhteydessä vapautuvasta energiasta siirtyy lämpökuormaenergiaksi rakennukseen. Lämpökuormaenergiaksi lasketaan 70 % tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta, 50 % lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemas- ta lämpöenergiasta. Tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpö- kuormaenergia lasketaan kaavalla 4.9 ja käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuk- sen sisälle tuleva lämpökuormaenergia lasketaan kaavalla 4.10.

$$Q_{\text{lämmitys, kuorma}} = 0,7 Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} \quad (4.9)$$

$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$ tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpö- kuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007)

$$Q_{\text{lkv, kuorma}} = 0,3 Q_{\text{lkv, netto}} + 0,5 Q_{\text{lkv, häviöt}} \quad (4.10)$$

$Q_{\text{lkv, kuorma}}$ käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia, kWh

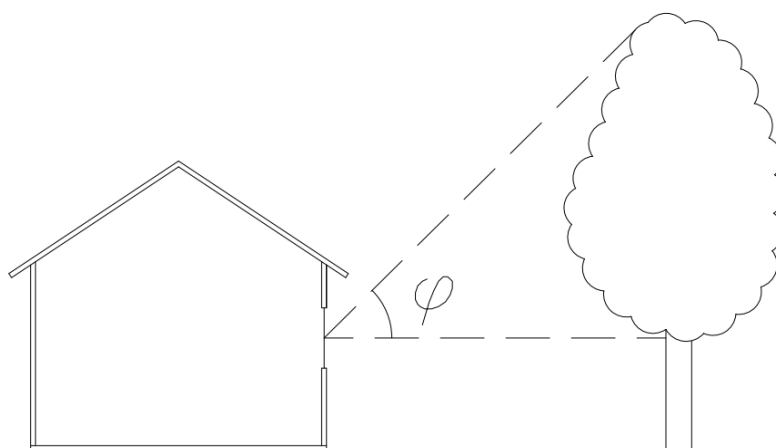
$Q_{\text{lkv, netto}}$ käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{lkv, häviöt}}$ käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007)

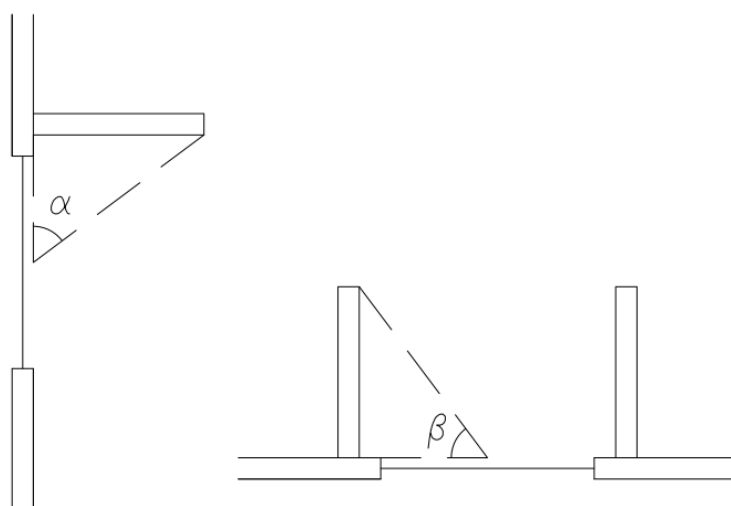
Rakennuksen sähkölaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta vapautuvaksi lämpö- kuormaenergiaksi voidaan laskea 100 % valaistuksen sähköenergiasta, 50 % koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiasta ja 60 % muiden laitteiden sähkö- energiasta. Laitteiden ominaissähköenergiankulutusarvoja saadaan Suomen rakenta- mismääräyskokoelman osasta D5.

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia sisältää ikkunoista ra- kennuksen sisälle suoraan tulevan ja ikkunaan absorboituneena lämpönä rakennuksen sisälle tulevan energian. Auringon säteilyenergia riippuu ikkunan pinta-alan ja suunta- uksen lisäksi ikkunan puitteista, lasituksen ominaisuuksista, verhoista, luukuista ja muista suojarakenteista. Myös ulkopuolinen varjostus, kuten muut rakennukset tai kas- villisuus, vaikuttavat rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian suuruuteen. Aurin-

gon säteilyenergian laskennassa tarvittavat kertoimet saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5. Ikkunoille määritellään ympäristö-, ylä- ja sivuvarjostuskertoimet niiden varjostuskulmien perusteella. Ympäristöstä aiheutuvaa varjostusta voi muodostua muun muassa ympäröivistä rakennuksista ja puista. Ylävarjostusta ikkunaan aiheutuu esimerkiksi ikkunan yläpuolisesta parvekelaatasta ja sivuvarjostusta ikkunaan voi tulla esimerkiksi parvekkeen seinästä. Varjostuskulmat lasketaan kuvien 4.2 ja 4.3 mukaan joka ilmansuuntaan, joiden perusteella saadaan varjostusten korjauskertoimet. Ylä- ja sivuvarjostuksen korjauskertoimia käytetään laskennassa ainoastaan lämmityskaudella.



Kuva 4.2. Ympäristön varjostuskulma φ . (RakMK: D5 2007)



Kuva 4.3. Yläpuolinen varjostuskulma α ja sivuvarjostuskulma β . (RakMK: D5 2007)

Ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kuukausittain eri ilmansuuntiin kaavalla 4.11.

$$Q_{\text{aur}} = \sum G_{\text{säteily, pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g \quad (4.11)$$

missä

| | |
|----------------------------------|---|
| Q_{aur} | ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh / kk |
| $G_{\text{säteily, pystypinta}}$ | pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alayksikköä kohti, kWh / (m ² kk) |
| $F_{\text{läpäisy}}$ | säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin |
| A_{ikk} | ikkuna-aukon pinta-ala, joka sisältää kehys- ja karmirakenteet, m ² |
| g | valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin. (RakMK: D5 2007) |

Rakennuksen lämpökuormaenergia saadaan laskemalla yhteen henkilöiden, lämmitysjärjestelmien, sähkölaitteiden ja auringon säteilyenergian aiheuttamat lämpökuormaenergiat. Lämpökuormaenergia lasketaan kaavalla 4.12.

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys, kuorma}} + Q_{\text{lkv, kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (4.12)$$

missä

| | |
|-------------------------------|---|
| $Q_{\text{lämpökuorma}}$ | rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh |
| Q_{henk} | henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$ | tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh |
| $Q_{\text{lkv, kuorma}}$ | käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh |
| $Q_{\text{säh}}$ | valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh |
| Q_{aur} | ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

Jotta saadaan selville, kuinka suuri osa lämpökuormaenergiasta voidaan hyödyntää lämmityksessä, on laskettava kerroin lämpökuormien kuukausittaiselle hyödyntämisas- teelle. Kertoimen suuruuteen vaikuttaa lämpökuormaenergian ja lämpöhäviöenergian suhde sekä rakennuksen aikavakio. Rakennuksen aikavakio tarkoittaa rakennuksen sisä- puolisen tehollisen lämpökapasiteetin suhdetta rakennuksen ominaislämpöhäviöön. Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämistas- te lasketaan kaavalla 4.13 ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Lämmityksessä hyödynnettävä läm- pökuormaenergia lasketaan kaavalla 4.14.

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (4.13)$$

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (4.14)$$

missä

| | |
|--------------------------|---|
| $\eta_{\text{lämpö}}$ | lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste |
| $Q_{\text{sis.lämpö}}$ | rakennuksen lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh |
| $Q_{\text{lämpökuorma}}$ | rakennuksen lämpökuormaenergia eli muun kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

4.1.7 Lämmitysenergiankulutuksen ja rakennuksen energiankulutuksen laskenta

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus koostuu rakennuksen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergioista. Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergioiden ja lämpökuormista hyödynnettävän energian erotus muodostaa rakennuksen tilojen nettoenergiantarpeen, joka lasketaan kaavalla 4.15. Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus koostuu tilojen nettoenergiantarpeesta ja tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioista ja se lasketaan kaavalla 4.16.

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} \quad (4.15)$$

$$Q_{\text{lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} + Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}} \quad (4.16)$$

missä

| | |
|--------------------------------------|---|
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$ | rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve, kWh |
| Q_{joht} | rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh |
| $Q_{\text{vuotoilma}}$ | vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
| Q_{iv} | ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ | rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat, häviöt}}$ | rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus on käyttöveden nettoenergiantarpeen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian yhteenlaskettu arvo, ja se lasketaan kaavalla 4.17.

$$Q_{\text{lkv}} = Q_{\text{lkv, netto}} + Q_{\text{lkv, häviöt}} \quad (4.17)$$

missä

| | |
|--------------------------|---|
| Q_{lkv} | käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh |
| $Q_{\text{lkv, netto}}$ | käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh |
| $Q_{\text{lkv, häviöt}}$ | käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh. (RakMK: D5 2007) |

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus lasketaan kaavalla 4.18. Rakennuksen energiankulutus muodostuu lämmitysenergian ja kiinteistösähköenergian kulutuksesta. Saatua rakennuksen energiankulutuksen arvoa käytetään energiatehokkuusluvun laskennassa. Rakennuksen vuotuinen energiankulutus lasketaan kaavalla 4.19.

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{lkv}} \quad (4.18)$$

$$E_{\text{rakennus}} = Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{kiinteistösähkö}} \quad (4.19)$$

missä

| | |
|------------------------------|--|
| $Q_{\text{lämmitys}}$ | rakennuksen lämmitysenergian kulutus, kWh |
| $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ | rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh |
| Q_{lkv} | käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh |
| E_{rakennus} | rakennuksen energiankulutus, kWh |
| $W_{\text{kiinteistösähkö}}$ | rakennuksen kiinteistösähköenergian kulutus, kWh. (RakMK: D5 2007) |

4.2 Kohteiden energiankulutuksen laskenta

4.2.1 Energiankulutuksen laskenta

Kohteista ei ollut saatavilla kaikkia tarvittavia lähtötietoja, jolloin laskennassa on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisia arvoja. Kaikissa kohteissa on käytetty Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) esimerkin mukaisesti huonelämpötilaa 21 °C. Poikkeuksena on kohteessa 1 sijaitseva puolilämmin tila, jonka lämpötilana on käytetty 15 °C. Asukasmääränä laskennassa on käytetty kohteiden todellisia asukasmääriä. Kohteessa 3 ja kohteessa 6 on kaksi kerrostaloa. Kun kohteessa on useampi kuin yksi rakennus, sen energiankulutus muodostuu yhteenlasketusta arvosta koko rakennusryhmälle. Tällöin kohteen energiankulutus on laskettu käyttäen kohteessa olevien kaikkien rakennusten yhteenlaskettuja pinta-aloja. Kohteella 5 on ryömintätilaan rajoittuva alapohja ja muilla kohteilla maanvastainen alapohja.

Kohteessa 3 energiankulutuksen laskentaan vaikuttaa kohteessa sijaitseva ammattiopisto. Rakennuksen käyttötarkoitus ja energiatehokkuusluokka määräytyvät sen perusteella, mihin suurinta osaa rakennuksen kerrosalasta käytetään (A 19.6.2007/765). Koska kohde 3 muodostuu suurimmaksi osaksi asuinhuoneistoista, se kuuluu muiden kohteiden tavoin käyttötarkoitukseltaan asuinrakennuksiin. Ammattiopiston energiankulutuksen laskenta poikkeaa joiltakin osin asuinrakennuksen energiankulutuksen laskennasta.

Rakenteiden läpi johtuva energia lasketaan rakennusosittain. Kohteessa 1 olevan puolilämpimän tilan vaikutus energiankulutuksen laskentaan on huomioitu rakenteiden läpi johtuvan energian laskennassa. Puolilämpimän tilan ulkoseinien läpi johtuvan energia

sekä alapohjan läpi johtuva energia on laskettu käyttämällä huonelämpötilan sijaan puolilämpimän tilan lämpötilaa. Taulukossa 4.2 on rakenteiden läpi johtuvan energian määrät kohteittain.

Taulukko 4.2. Rakenteiden läpi johtuva energia.

| Kohde | Ulkoseinä [kWh] | Yläpohja [kWh] | Alapohja [kWh] | Ikkunat [kWh] | Uiko-ovet [kWh] | Yhteensä [kWh] |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| 1 (1965) | 63 373 | 30 437 | 64 892 | 73 756 | 18 911 | 251 369 |
| 2 (1974) | 157 687 | 37 131 | 321 844 | 130 354 | 33 847 | 680 863 |
| 3 (1978) | 188 754 | 50 442 | 448 651 | 228 282 | 55 043 | 971 173 |
| 4 (1981) | 65 983 | 16 308 | 28 430 | 78 387 | 18 472 | 207 580 |
| 5 (1989) | 24 959 | 11 949 | 10 515 | 46 207 | 12 550 | 106 180 |
| 6 (1992) | 130 892 | 19 959 | 67 863 | 160 062 | 31 191 | 409 968 |

Taulukossa 4.3 on kohteiden lämpöhäviöihin kulunut energiamäärä, joka muodostuu rakenteiden läpi johtuvasta, vuotoilman lämmityksen tarvitsemasta ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta energiasta. Koska kohteiden ilmanpitävyyttä ei tunneta, niiden ilmapuotolukuna käytetään arvoa $n_{50} = 4$, kun lasketaan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia. Kohteista ei ole tiedossa ilmanvaihdon poistoilmavirran suuruutta, joten se lasketaan käyttämällä ilmanvaihtokertoimena $0,5 \text{ l / h}$. Kohteiden ilmanvaihdon käyntiaikaa ei tiedetä, joten ilmanvaihdon arvioidaan olevan täydellä teholla yhteensä 4 tuntia vuorokaudessa ja puoliteholla 20 tuntia vuorokaudessa.

Taulukko 4.3. Kohteiden lämpöhäviöenergiat.

| Kohde | Rakenteiden läpi johtuva energia [kWh] | Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia [kWh] | Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia [kWh] | Yhteensä [kWh] |
|----------|--|--|--|-------------------|
| 1 (1965) | 251 369 | 32 085 | 58 488 | 341 941 |
| 2 (1974) | 680 863 | 107 328 | 195 651 | 983 842 |
| 3 (1978) | 971 173 | 141 971 | 258 801 | 1 371 945 |
| 4 (1981) | 207 580 | 56 059 | 102 191 | 365 830 |
| 5 (1989) | 106 180 | 24 229 | 44 167 | 174 575 |
| 6 (1992) | 409 968 | 120 776 | 220 165 | 750 909 |

Kohteissa ei ole vedenkulutuksen huoneistokohtaista mittausta ja laskutusta, jolloin lämpimän veden ominaiskulutus on 60 litraa henkeä kohden vuorokaudessa. Kohteessa 3 olevan ammattiopiston lämpimän veden kulutus lasketaan sen bruttopinta-alan perusteella. Ammattiopistossa lämpimän veden ominaiskulutus on 180 litraa bruttoneliötä kohden vuodessa. Lämpimän veden kulutuksen määrän perusteella saadaan laskettua kohteiden käyttöveden lämmityksen tarvitsemat energiamäärät, jotka ovat taulukossa 4.4.

Taulukko 4.4. Käyttöveden lämmitystarve.

| Kohde | Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia [kWh] |
|----------|---|
| 1 (1965) | 39 603 |
| 2 (1974) | 125 195 |
| 3 (1978) | 179 984 |
| 4 (1981) | 71 540 |
| 5 (1989) | 37 048 |
| 6 (1992) | 145 635 |

Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioihin kuuluu lämpöhäviöenergiat tilojen lämmitysjärjestelmästä ja käyttöveden lämmitysjärjestelmästä. Lämmitysjärjestelmän ominaislämpöhäviöiden vuotuiset arvot on valittu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden perusteella, jolloin kehityshäviöinä on käytetty arvoa 2 kWh / brm², jakeluhäviöinä 5 kWh / brm², luovutushäviöinä 4 kWh / brm² ja säätöhäviöinä 2 kWh / brm². Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergioihin on laskettu mukaan ainoastaan kiertojohdon ja siihen liitettyjen laitteiden lämpöhäviöenergia. Lämpimän käyttöveden kiertopiirin ominaislämpöhäviöenergiana on käytetty arvoa 30 kWh / brm² vuodessa. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat ovat taulukossa 4.5.

Taulukko 4.5. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat.

| Kohde | Tilojen lämmitys- järjestelmän lämpöhäviö- energia [kWh] | Käyttöveden lämmitys- järjestelmän lämpöhäviö- energia [kWh] |
|----------|--|--|
| 1 (1965) | 22 464 | 51 840 |
| 2 (1974) | 67 873 | 156 630 |
| 3 (1978) | 90 233 | 208 230 |
| 4 (1981) | 34 892 | 80 520 |
| 5 (1989) | 16 159 | 37 290 |
| 6 (1992) | 78 026 | 180 060 |

Kohteiden kiinteistösähkön kulutus on taulukossa 4.7. Valaistusjärjestelmän sähkönkulutus on laskettu asuntojen ulkopuolisen bruttopinta-alan mukaan ja sen ominaissähköenergiankulutuksena on käytetty arvoa 7 kWh / brm² vuodessa. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaisesti käyttäen ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehona arvoa 1,0 kWh (m³ / s). Kiinteistön muiden laitteiden ominaissähköenergiankulutuksina on käytetty taulukossa 4.6 olevia arvoja. Pumppujen energiankulutus lasketaan lämmitysverkoston mitoitusvesivirran ja lämpimän käyttöveden kiertopiiriin mitoitusvesivirran perusteella. Laskennassa on käytetty radiaattoriverkon mitoitusvesivirtana arvoa 0,53 dm³ / s ja käyttöveden kierron mitoitusvesivirtana arvoa 0,22 dm³ / s Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) mukaisesti, koska kohteista ei ollut saatavilla tietoa mitoitusvesivirtojen suuruudesta. Autopaikkojen lukumäärä tiedettiin ainoastaan kohteista 1 ja 5, joten muiden kohteiden autopaikkojen määrä on arvioitu. Mitoitusvesivirran suuruudella ja auto-

paikkojen määrällä ei ole kovin suurta vaikutusta kiinteistösähkönkulutukseen, joten niiden arvoina on voitu käyttää arvioituja suuruuksia ja määriä.

Taulukko 4.6. *Asuinkerrostalon laitteiden sähköenergian vuotuisia ominaiskulutuksia. Pumppujen energiankulutus on ilmoitettu vesivirtaa kohden. (RakMK: D5 2007; Energiatodistusopas 2009)*

| Laite | Sähköenergian vuotuinen ominaiskulutus |
|--|--|
| Hissi | 23 [kWh / asukas] |
| Talosauna | 410 [kWh / asunto] |
| Talopesula | 67 [kWh / asunto] |
| Pumput (radiaattoriverkko) | 1200 [kWh / (dm ³ / s)] |
| Pumput (käyttöveden kierto) | 1200 [kWh / (dm ³ / s)] |
| Automatiikkalaitteet (lämmitysjärjestelmä) | 0,2 [kWh / brm ²] |
| Ulkovalaistus | 2 [kWh / brm ²] |
| Autopaikat (kohdelämmitys) | 150 [kWh / autopaikka] |

Taulukko 4.7. *Kiinteistösähkön kulutus.*

| Kohde | Kiinteistö-sähkön kulutus [kWh/vuosi] |
|----------|---------------------------------------|
| 1 (1965) | 23 922 |
| 2 (1974) | 73 405 |
| 3 (1978) | 89 512 |
| 4 (1981) | 37 332 |
| 5 (1989) | 17 008 |
| 6 (1992) | 80 729 |

Lämpökuormia rakennukseen muodostuu henkilöistä, lämmityslaitteista, sähkölaitteista, valaistuksesta ja ikkunoiden kautta tulevasta auringon säteilyenergiasta. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia on laskettu asukasmäärän perusteella. Kohteessa 3 sijaitsevasa ammattiopistossa henkilöiden luovuttama lämpöenergia lasketaan ammattiopiston bruttopinta-alan perusteella, jolloin vuotuisena henkilöiden luovuttamana ominaislämpöväiöenergiana käytetään arvoa 58 kWh / brm². Lämpökuormaenergiaksi tilojen lämmityksestä lasketaan 70 % tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöväiöenergista. Käyttöveden lämmityksestä muodostuvaksi lämpökuormaenergiaksi lasketaan 50 % lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöväiöenergista ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergista. Lämpökuormaksi on laskettu 100 % valaistuksen sähköenergista, 50 % koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän sähköenergista ja 60 % muiden laitteiden sähköenergista. Muiden laitteiden sähköenergia on laskettu käyttämällä niiden ominaissähköenergiankulutuksena arvoa 33 kWh bruttoneliötä kohden vuodessa.

Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian laskennassa ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin $g_{\text{kohtisuora}}$ on valittu ikkunalasituksen tyyppin ja sen U-arvon perusteella. Kehäkertoimenä on käytetty arvoa $F_{\text{kehä}} = 0,75$, koska tarkkoja mittoja ikkunoiden valoaukkojen pinta-aloista ja niiden kokonaispinta-aloista ei ole tiedossa. Verhokertoimeksi on valittu Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) esimerkin mukaisesti eri arvot talvi- ja kesäkuukausille. Verhokertoimenä on käytetty kaikilla kohteilla syyskuusta toukokuuhun arvoa $F_{\text{verho}} = 1,0$ ja kesäkuusta elokuuhun arvoa $F_{\text{verho}} = 0,7$. Ympäristön varjostuksen varjostuskulmana on käytetty kaikilla kohteilla kulmaa $\phi = 15^\circ$. Kohteille määritellyt ylä- ja sivuvarjostuskulmat on laskettu kuvan 4.3 mukaisesti ilmansuunnittain keskiarvona: koska yleensä vain osassa ikkunoita oli varjostusta, laskettiin koko seinän varjostuskulma kaikkien samalla seinällä olevien ikkunoiden varjostuskulmien keskiarvona. Rakennukseen muodostuvat lämpökuormat ovat taulukossa 4.8. Lämpökuormista hyödynnettävän energian laskennassa tehollisena lämpökapasiteettina on käytetty arvoa $C_{\text{rak omin}} = 220 \text{ Wh} / (\text{brm}^2 \text{ K})$. Lämmityksessä hyödynnettävän lämpökuormaenergian määrä on taulukossa 4.9.

Taulukko 4.8. Lämpökuormat.

| Kohde | Henkilöiden luovuttama lämpöenergia [kWh] | Tilojen lämmitys-järjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma-energia [kWh] | Käyttöveden lämmityksestä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma-energia [kWh] | Valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma-energia [kWh] | Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia [kWh] |
|----------|---|--|--|--|---|
| 1 (1965) | 11 406 | 15 725 | 37 801 | 48 760 | 43 127 |
| 2 (1974) | 36 056 | 47 511 | 115 874 | 147 584 | 81 900 |
| 3 (1978) | 77 839 | 63 163 | 158 110 | 196 153 | 127 780 |
| 4 (1981) | 20 604 | 24 424 | 61 722 | 75 933 | 44 363 |
| 5 (1989) | 10 670 | 11 311 | 29 759 | 35 042 | 23 142 |
| 6 (1992) | 41 943 | 54 618 | 133 721 | 169 475 | 87 065 |

Taulukko 4.9. Lämpökuormista hyödynnettävä energia.

| Kohde | Lämpökuormat yhteensä [kWh] | Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste | Lämpökuormista hyödynnettävä energia [kWh] |
|----------|-----------------------------|---|--|
| 1 (1965) | 156 818 | 96 % | 150 412 |
| 2 (1974) | 428 925 | 99 % | 425 732 |
| 3 (1978) | 623 046 | 99 % | 615 304 |
| 4 (1981) | 227 046 | 89 % | 201 782 |
| 5 (1989) | 109 924 | 86 % | 93 077 |
| 6 (1992) | 486 821 | 89 % | 429 573 |

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus muodostuu rakennuksen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergioista. Kohteiden lämmitysenergiankulutus on taulukossa 4.10. Rakennuksen energiankulutus muodostuu lämmitysenergian ja kiinteistösähköenergian kulutuksesta. Taulukossa 4.11 on laskettu kohteiden energiankulutukset.

Taulukko 4.10. *Lämmitysenergian kulutus.*

| Kohde | Rakennuksen tilojen lämmitysenergian kulutus [kWh] | Käyttöveden lämmityksen energiankulutus [kWh] | Yhteensä [kWh] |
|----------|--|---|----------------|
| 1 (1965) | 213 993 | 91 443 | 305 436 |
| 2 (1974) | 625 982 | 281 825 | 907 807 |
| 3 (1978) | 846 873 | 388 214 | 1 235 087 |
| 4 (1981) | 198 940 | 152 060 | 351 000 |
| 5 (1989) | 97 657 | 74 338 | 171 994 |
| 6 (1992) | 399 363 | 325 695 | 725 058 |

Taulukko 4.11. *Kohteiden laskennallinen energiankulutus.*

| Kohde | Lämmitysenergian kulutus [kWh] | Kiinteistö-sähkön kulutus [kWh] | Yhteensä [kWh] |
|----------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1 (1965) | 305 436 | 23 922 | 329 358 |
| 2 (1974) | 907 807 | 73 405 | 981 212 |
| 3 (1978) | 1 235 087 | 89 512 | 1 324 599 |
| 4 (1981) | 351 000 | 37 332 | 388 332 |
| 5 (1989) | 171 994 | 17 008 | 189 002 |
| 6 (1992) | 725 058 | 80 729 | 805 787 |

4.2.2 Ilmavuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen variointi

Vuotoilman lämmityksen tarvitseman energian laskennassa rakennuksen ilmavuotolukuna käytetään arvoa $n_{50} = 4 \text{ l / h}$, kun rakennuksen ilmanpitävyyttä ei tunneta. Toisaalta tutkimuksen (Vinha et al. 2009) mukaan betonielementtirakenteisen kerrostaloasunnon n_{50} -luku oli keskimäärin $n_{50} = 1,6 \text{ l / h}$. Koska ilmavuotoluku on tutkimuksen mukaan pienempi kuin laskennassa käytettävä arvo, ilmavuotolukua varioidaan ja tutkitaan sen vaikutusta rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen. Taulukosta 4.12 nähdään ilmavuotoluvun suuruuden vaikutus ilmavuotoluvun arvoa $n_{50} = 4 \text{ l / h}$ vastaavaan laskennalliseen energiankulutukseen. Tarkemmat arvot löytyvät liitteen 1 taulukosta 1.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian laskennassa voidaan ilmanvaihtokertoimenä käyttää arvoa $0,5 - 0,7 \text{ l / h}$, jos kerrointa ei tunneta. Kohteiden energiankulutuksen laskennassa ilmanvaihtokertoimenä on käytetty arvoa $0,5 \text{ l / h}$. Kohteiden ilmanvaihdon on oletettu olevan täydellä teholla 4 tuntia ja puoliteholla 20 tuntia vuorokaudessa. Tutkimuksen (Vinha et al. 2009) mukaan kerrostaloissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, oli ilmanvaihtokertoimen keskiarvo $0,39 \text{ l / h}$, minimiarvo $0,1 \text{ l / h}$ ja maksimiarvo $0,8 \text{ l / h}$. Koska tutkimuksen mukaan ilmanvaihtokertoimen keskimääräinen arvo kerrostaloissa on pienempi kuin laskennassa käytettävä arvo, varioidaan ilmanvaihtokerrointa ja tutkitaan sen vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Taulukosta 4.13 nähdään ilmanvaihtokertoimen suuruuden vaikutus kertoimen arvoa $0,5 \text{ l / h}$ vastaavaan laskennalliseen energiankulutukseen. Tarkemmat arvot löytyvät liitteen 1 taulukosta 2.

Taulukko 4.12. Ilmavuotoluvun suuruuden vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen kohteittain. Kohteiden energiankulutuksen laskennan perustapauksessa on käytetty ilmavuotoluvun arvona $n_{50} = 4$ l/h. Taulukosta nähdään laskennallisen kulutuksen ero perustapaukseen verrattuna, kun ilmavuotoluvun suuruus vaihtelee.

| Ilmavuotoluvun vaikutus rakennuksen energiankulutukseen [%] | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ilmavuotoluku n_{50} [l/h] | Kohde 1 (1965) | Kohde 2 (1974) | Kohde 3 (1978) | Kohde 4 (1981) | Kohde 5 (1989) | Kohde 6 (1992) |
| 1 | -7 % | -8 % | -8 % | -9 % | -8 % | -10 % |
| 1,5 | -6 % | -7 % | -7 % | -8 % | -7 % | -8 % |
| 2 | -5 % | -5 % | -5 % | -6 % | -6 % | -6 % |
| 2,5 | -4 % | -4 % | -4 % | -5 % | -4 % | -5 % |
| 3 | -2 % | -3 % | -3 % | -3 % | -3 % | -3 % |
| 3,5 | -1 % | -1 % | -1 % | -2 % | -1 % | -2 % |
| 4 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |

Taulukko 4.13. Ilmanvaihtokertoimen vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen kohteittain. Kohteiden energiankulutuksen laskennan perustapauksessa on käytetty ilmanvaihtokertoimen arvona 0,5 l/h. Taulukosta nähdään laskennallisen kulutuksen ero perustapaukseen verrattuna, kun ilmanvaihtokertoimen suuruus vaihtelee.

| Ilmanvaihtokertoimen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen [%] | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ilmanvaihtokerroin [l/h] | Kohde 1 (1965) | Kohde 2 (1974) | Kohde 3 (1978) | Kohde 4 (1981) | Kohde 5 (1989) | Kohde 6 (1992) |
| 0,1 | -14 % | -16 % | -16 % | -19 % | -17 % | -20 % |
| 0,2 | -11 % | -12 % | -12 % | -14 % | -13 % | -15 % |
| 0,3 | -7 % | -8 % | -8 % | -10 % | -9 % | -10 % |
| 0,4 | -4 % | -4 % | -4 % | -5 % | -4 % | -5 % |
| 0,5 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| 0,6 | 4 % | 4 % | 4 % | 5 % | 4 % | 5 % |
| 0,7 | 7 % | 8 % | 8 % | 10 % | 9 % | 10 % |

Taulukoista 4.12 ja 4.13 nähdään, että rakennuksen tiiveydellä ja ilmanvaihdon määrällä on suuri vaikutus energiankulutukseen. Ilmavuotoluvun pienentyessä arvosta $n_{50} = 4$ l/h arvoon $n_{50} = 1$ l/h, on laskennallinen energiankulutus noin 7 – 10 % pienempi kuin määräysten mukaisella ilmavuotoluvun arvolla. Kun ilmanvaihtokerroin pienenee arvosta 0,5 l/h arvoon 0,1 l/h, laskennallinen energiankulutus on kohteesta riippuen 14 – 20 % pienempi. Toisaalta ilmanvaihtokertoimen suurentuessa arvosta 0,5 l/h arvoon 0,7 l/h, on laskennallinen energiankulutus 7 – 10 % suurempi.

4.2.3 Maan lämmönvastuksen huomiointi energiankulutuksen laskennassa

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) mukaan maanvastaisen alapohjan U-arvon laskennassa ei oteta huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta toisin kuin osan C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden mukaan. Osan D5

ohjeiden mukaan alapohjan läpi johtuva energia lasketaan ulkoilman lämpötilan sijaan alapohjan alapuoliseen lämpötilaan. Taulukosta 3.7 kuitenkin nähdään, että etenkin vanhemmilla kohteilla U-arvossa on todella suuri ero laskentatavasta riippuen. Poikkeuksena on kohde 5, jossa on ryömintätilaan rajoittuva alapohja, joten sen U-arvo lasketaan osan C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden tapaan. Lisäksi taulukoista 3.6 ja 4.2 nähdään, että esimerkiksi kohteella 2 alapohjan läpi johtuvan energian määrä on huomattavan paljon suurempi kuin kohteella 6, vaikka molempien kohteiden alapohjien pinta-alat ovat lähes samansuuruiset. Tämän vuoksi alapohjien U-arvot on laskettu uudelleen käyttäen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisia ohjeita ja alapohjan läpi johtuva energia on laskettu ulkoilman lämpötilaan. Taulukossa 4.14 on alapohjan läpi johtuvan energian määrä ja rakennuksen energiankulutus, kun laskennassa on otettu huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus. Taulukossa on myös maan lämmönvastuksen huomioon otettu vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen.

Taulukko 4.14. Alapohjan U-arvon vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen. Kun energiankulutus lasketaan ohjeiden mukaan, käytetään alapohjan U-arvona RakMK D5 mukaan laskettua U-arvoa. Kun laskennassa otetaan huomioon maan lämmönvastus, käytetään alapohjan U-arvona RakMK C4 mukaista U-arvoa.

| Kohde | Alapohjan läpi johtuva energia [kWh] | | Rakennuksen energiankulutus [kWh] | | Maan lämmönvastuksen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen [%] |
|----------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---|
| | Maan lämmönvastus otettu huomioon | Ohjeiden mukaan laskettu | Maan lämmönvastus otettu huomioon | Ohjeiden mukaan laskettu | |
| 1 (1965) | 14 997 | 64 892 | 296 348 | 329 358 | -10 % |
| 2 (1974) | 58 888 | 321 844 | 767 748 | 981 212 | -22 % |
| 3 (1978) | 82 090 | 448 651 | 1 038 896 | 1 324 599 | -22 % |
| 4 (1981) | 22 908 | 28 430 | 389 837 | 388 332 | 0,4 % |
| 5 (1989) | 10 515 | 10 515 | 189 002 | 189 002 | 0 % |
| 6 (1992) | 37 971 | 67 863 | 795 070 | 805 787 | -1 % |

Taulukon 4.14 mukaan kohteilla 1 – 3 on suuri ero rakennuksen energiankulutuksessa, kun alapohjan U-arvon laskennassa otetaan huomioon maan lämmönvastus: laskennallinen energiankulutus on 10 – 22 % pienempi verrattuna ohjeiden mukaiseen laskentaan. Kohteella 5 on ryömintätilaan rajoittuva alapohja, joten sen U-arvon laskenta ei muutu. Taulukon 3.7 mukaan kohteiden 4 ja 6 U-arvoissa on pieni ero laskentatavasta riippuen, mutta rakennuksen energiankulutukseen sillä ei ole kovinkaan suurta merkitystä.

4.3 Energiatohokkuusluvun laskenta

Energiatohokkuusluku lasketaan kaavalla 2.1. Koska kohteissa ei ole jäähdytysjärjestelmää, jäähdytysenergiankulutusta ei lasketa mukaan rakennuksen energiankulutukseen. Tällöin energiatohokkuusluku lasketaan kaavalla 4.20. Rakennuksen energiatohokkuusluokka saadaan sen energiatohokkuusluvun ja taulukon 2.1 perusteella.

$$ET = \frac{\sum [Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{kiinteistösähkö}}]}{\sum A} \quad (4.20)$$

missä

| | |
|------------------------------|--|
| ET | rakennuksen tai rakennusryhmän energiatehokkuusluku, kWh / brm ² / vuosi |
| Q _{lämmitys} | rakennuksen tai rakennusryhmän lämmitysenergian kulutus, kWh / vuosi |
| W _{kiinteistösähkö} | rakennuksen tai rakennusryhmän kiinteistösähkön kulutus, kWh / vuosi |
| Σ A | rakennuksen tai rakennusryhmän yhteenlaskettu bruttopinta-ala, brm ² . (Energiatodistusopas 2009) |

4.3.1 Laskennallisen energiankulutuksen mukainen energiatehokkuusluku

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) mukainen rakennuksen laskennallinen energiankulutus kohteittain on taulukossa 4.15. Taulukossa on myös kohteiden energiatehokkuusluvut ja -luokat.

Taulukko 4.15. Laskennalliseen energiankulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ja -luokat.

| Kohde | Laskennallinen energiankulutus [kWh] | Energiatehokkuusluku [kWh/brm ² /vuosi] | Energiatehokkuusluokka |
|----------|--------------------------------------|--|------------------------|
| 1 (1965) | 329 358 | 191 | E |
| 2 (1974) | 981 212 | 188 | E |
| 3 (1978) | 1 324 599 | 191 | E |
| 4 (1981) | 388 332 | 145 | D |
| 5 (1989) | 189 002 | 153 | D |
| 6 (1992) | 805 787 | 135 | C |

Taulukosta 4.15 nähdään, että kohteet 1 – 3 sijoittuvat laskennallisesti luokkaan E, kohteet 4 ja 5 luokkaan D ja kohde 6 luokkaan C. Kohteiden saamien luokkien perusteella voidaan päätellä, että uudemmat kohteet ovat energiatehokkaampia vanhempiin kohteisiin verrattuna. Sen sijaan ulkoseinärakenteen lämmöneristepaksuudella ei ole selkeää yhteyttä kohteen saamaan energiatehokkuuslukuun. Esimerkiksi kohteilla 3 ja 4 on sama lämmöneristepaksuus (120 mm), mutta niiden energiatehokkuusluvuissa on suuri ero. Kohteella 5 lämmöneristepaksuus on 140 mm eli hieman suurempi kuin kohteella 4, mutta kohteen 5 energiatehokkuusluku on kuitenkin suurempi.

Kun alapohjan läpi johtuvan energian laskennassa otetaan huomioon maan lämmönvastus, rakennuksen kokonaisenergiankulutus vähenee kohteilla 1 – 3 huomattavan paljon. Maan lämmönvastuksen huomioon ottavan laskennallisen energiankulutuksen mukaiset kohteiden energiatehokkuusluvut ovat taulukossa 4.16.

Taulukko 4.16. Laskennalliseen energiankulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ja –luokat, kun energiankulutuksen laskennassa on otettu huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus.

| Kohde | Laskennallinen energiankulutus (maan lämmönvastus otettu huomioon) [kWh] | Energia-tehokkuusluku [kWh/brm ² /vuosi] | Energia-tehokkuusluokka |
|----------|--|---|-------------------------|
| 1 (1965) | 296 348 | 172 | D |
| 2 (1974) | 767 748 | 148 | D |
| 3 (1978) | 1 038 896 | 150 | D |
| 4 (1981) | 389 837 | 146 | D |
| 5 (1989) | 189 002 | 153 | D |
| 6 (1992) | 795 070 | 133 | C |

Taulukosta 4.16 nähdään, että maan lämmönvastuksen huomioon otto pienentää huomattavasti kohteiden 1 – 3 energiatehokkuuslukuja verrattuna ohjeiden mukaisiin laskettuihin arvoihin taulukossa 4.15. Myös niiden energiatehokkuusluokat muuttuvat luokasta E luokkaan D. Kohteen 4 energiatehokkuusluku kasvaa yhdellä yksiköllä ja kohteen 6 energiatehokkuusluku pienenee kahdella yksiköllä, mutta niiden energiatehokkuusluokat eivät muutu.

4.3.2 Toteutuneen energiankulutuksen mukainen energiatehokkuusluku

Kohteiden toteutunut lämmitysenergiankulutus muunnetaan vastaamaan Jyväskylän normaalivuoden lämmitystarvelukua kaavalla 3.1. Taulukossa 4.17 on kohteiden toteutuneet energiankulutukset sekä niitä vastaavat energiatehokkuusluvut ja –luokat.

Taulukko 4.17. Toteutuneen energiankulutuksen mukainen energiatehokkuusluku ja energiatehokkuusluokka.

| Kohde | Toteutunut energiankulutus [kWh] | Energia-tehokkuusluku [kWh/brm ² /vuosi] | Energia-tehokkuusluokka |
|----------|----------------------------------|---|-------------------------|
| 1 (1965) | 309 305 | 179 | D |
| 2 (1974) | 746 314 | 143 | D |
| 3 (1978) | 1 055 626 | 153 | D |
| 4 (1981) | 353 139 | 132 | C |
| 5 (1989) | 190 953 | 154 | D |
| 6 (1992) | 884 749 | 148 | D |

Taulukosta 4.17 nähdään, että kohde 4 sijoittuu energiatehokkuusluokkaan C ja muut kohteet luokkaan D. Vaikka kohteilla 1 ja 2 on suuri ero energiatehokkuusluvuissa, molemmat sijoittuvat kuitenkin luokkaan D. Kohteella 4 on taulukon 3.5 mukaan suurin ominaisvedenkulutus, mutta sillä on silti pienin energiatehokkuusluku. Taulukosta 4.17 nähdään myös, että 1960-luvulla rakennetun kohteen 1 energiatehokkuusluokka on sama kuin 1990-luvulla rakennetun kohteen 6, vaikka ulkoseinärakenteen lämmöneristepaksuus kohteella 1 on 50 – 75 mm ja kohteella 6 on 140 mm. Selkeää yhteyttä ulkoseinärakenteen lämmöneristepaksuuden ja energiatehokkuusluvun suuruuden välillä ei

taulukon mukaan ole: esimerkiksi lämmöneristepaksuus kohteella 5 on 140 mm ja kohteella 2 on 90 mm, mutta kohteella 2 on pienempi energiatehokkuusluku.

Kuvassa 3.1 on koko aineiston sisältämien kerrostalojen energiatehokkuusluvut ja sijoittuminen energiatehokkuusluokkiin. Vertaamalla taulukkoa 4.17 ja kuvaa 3.1 nähdään, että kohteella 4 on parempi energiatehokkuusluokka kuin samaa ikäluokkaa olevilla aineiston kerrostaloilla keskimäärin. Muilla kohteilla energiatehokkuusluokka sen sijaan on sama omaa ikäluokkaa vastaavien kerrostalojen kanssa.

4.4 Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailu

4.4.1 Laskennallisen kulutus ohjeiden mukaan

Taulukoissa 4.18 – 4.20 on toteutuneet ja laskennalliset lämmitysenergian, kiinteistösähkön sekä rakennuksen kokonaisenergian kulutukset kohteittain. Laskennalliset arvot on tehty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeiden mukaisesti. Taulukoissa on lisäksi toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen verrattuna. Kuvasta 4.4 nähdään laskennalliseen ja toteutuneeseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ja –luokat.

Taulukko 4.18. *Lämmitysenergian kulutuksen toteutunut ja laskennallinen arvo kohteittain.*

| Kohde | Lämmitysenergian kulutus [kWh] | | Toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen [%] |
|----------|--------------------------------|----------------|--|
| | Toteutunut | Laskennallinen | |
| 1 (1965) | 293 790 | 305 436 | -4 % |
| 2 (1974) | 667 898 | 907 807 | -26 % |
| 3 (1978) | 980 398 | 1 235 087 | -21 % |
| 4 (1981) | 321 821 | 351 000 | -8 % |
| 5 (1989) | 172 337 | 171 994 | 0,2 % |
| 6 (1992) | 805 250 | 725 058 | 11 % |

Taulukosta 4.18 nähdään, että kohteilla 1, 4 ja 5 toteutunut lämmitysenergian kulutus on lähes yhtä suuri laskennallisen kulutuksen kanssa. Sen sijaan kohteilla 2, 3 ja 6 ero toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen välillä on suuri. Kohteilla 1 – 4 laskennallinen lämmitysenergian kulutus on suurempi kuin toteutunut, kun kohteilla 5 ja 6 laskennallinen kulutus on pienempi toteutuneeseen kulutukseen verrattuna.

Taulukko 4.19. Kiinteistösähkön kulutuksen toteutunut ja laskennallinen arvo kohteittain.

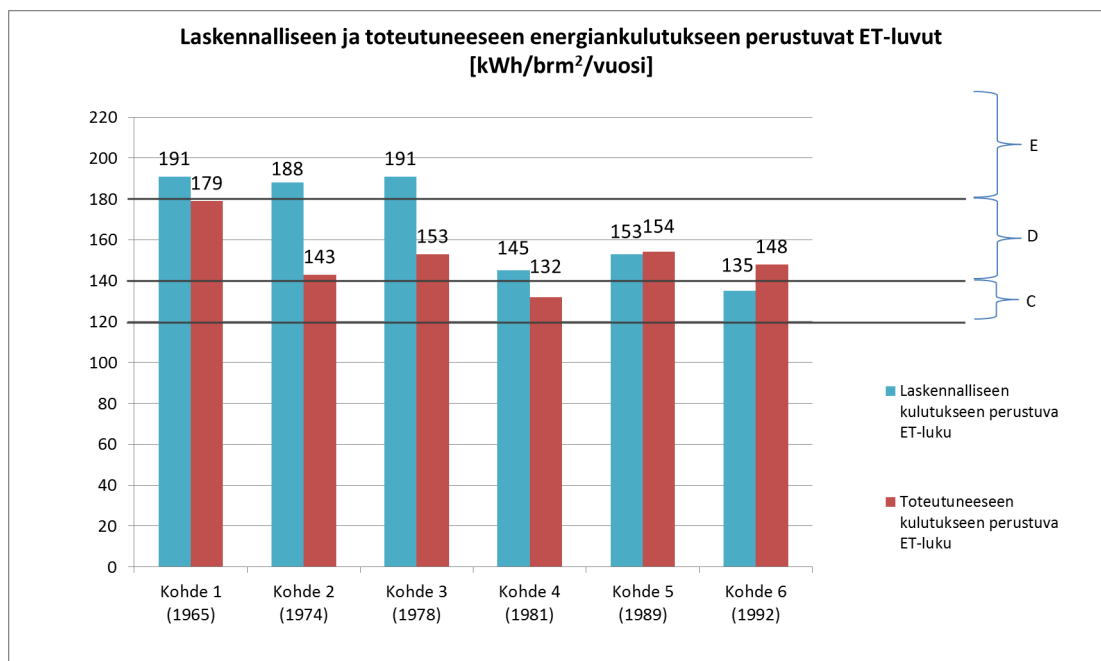
| Kohde | Kiinteistösähkön kulutus [kWh] | | Toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen [%] |
|----------|--------------------------------|----------------|--|
| | Toteutunut | Laskennallinen | |
| 1 (1965) | 15 514 | 23 922 | -35 % |
| 2 (1974) | 78 416 | 73 405 | 7 % |
| 3 (1978) | 75 228 | 89 512 | -16 % |
| 4 (1981) | 31 318 | 37 332 | -16 % |
| 5 (1989) | 18 616 | 17 008 | 9 % |
| 6 (1992) | 79 499 | 80 729 | -2 % |

Taulukosta 4.19 nähdään, että kiinteistösähkön toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen väliset erot vaihtelevat suuresti kohteittain: kohteella 6 toteutunut ja laskennallinen kulutus ovat lähes samat, mutta kohteella 1 toteutunut kulutus on noin kolmasosan pienempi kuin laskennallinen. Kohteilla 3 ja 4 toteutunut kulutus on 16 % pienempi kuin laskennallinen, kun taas kohteilla 2 ja 5 toteutunut kulutus on hieman alle 10 % suurempi kuin laskennallinen kulutus.

Taulukko 4.20. Rakennuksen energiankulutuksen toteutunut ja laskennallinen arvo kohteittain.

| Kohde | Rakennuksen energiankulutus [kWh] | | Toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen [%] |
|----------|-----------------------------------|----------------|--|
| | Toteutunut | Laskennallinen | |
| 1 (1965) | 309 305 | 329 358 | -6 % |
| 2 (1974) | 746 314 | 981 212 | -24 % |
| 3 (1978) | 1 055 626 | 1 324 599 | -20 % |
| 4 (1981) | 353 139 | 388 332 | -9 % |
| 5 (1989) | 190 953 | 189 002 | 1 % |
| 6 (1992) | 884 749 | 805 787 | 10 % |

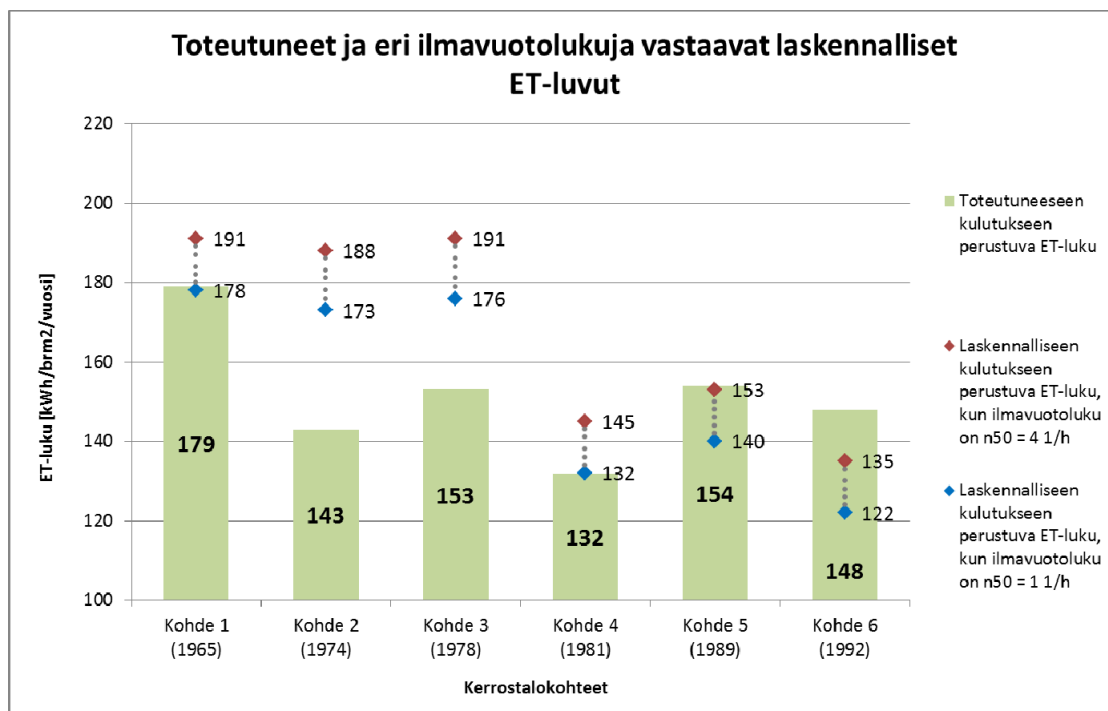
Rakennuksen energiankulutus koostuu lämmitysenergian ja kiinteistösähkön kulutuksesta. Taulukosta 4.20 nähdään, että kohteilla 5 ja 6 toteutunut energiankulutus on suurempi kuin laskennallinen ja muilla kohteilla toteutunut energiankulutus on pienempi laskennalliseen verrattuna. Kohteiden Etenkin kohteilla 2 ja 3 ero laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen välillä on todella suuri.



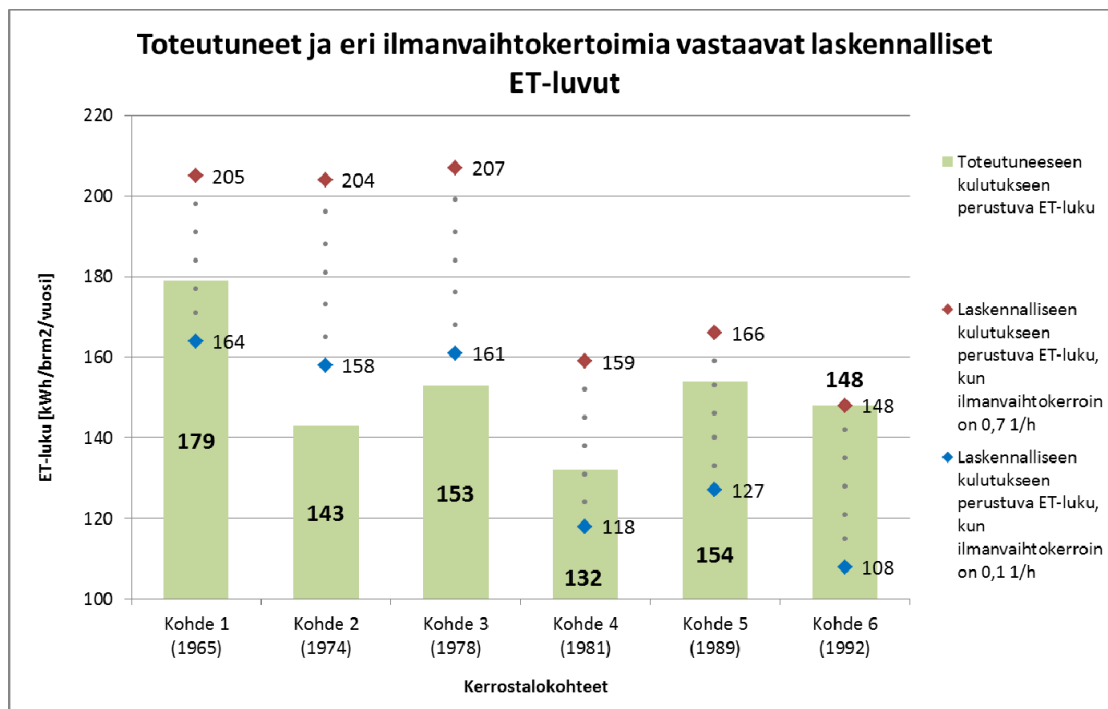
Kuva 4.4. Laskennalliseen ja toteutuneeseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut sekä lukuja vastaavat energiatehokkuusluokat.

Kuvan 4.4 mukaan kohteilla 1 – 4 on laskennallisesti suurempi energiatehokkuusluku ja kohteilla 5 – 6 laskennallisesti pienempi energiatehokkuusluku toteutuneeseen energiatehokkuuslukuun verrattuna. Erot toteutuneiden ja laskennallisten energiatehokkuuslukujen välillä ovat lähes kaikilla kohteilla riittävän suuret siihen, että kohde saa eri energiatehokkuusluokituksen toteutuneen ja laskennallisen energiatehokkuusluvun perusteella. Ainoastaan kohteella 5 toteutunut energiatehokkuusluku on lähes samansuuruinen laskennallisen luvun kanssa ja sen energiatehokkuusluokka on sama sekä laskennallisesti että toteutuneeseen energiankulutukseen perustuen. Laskennallisesti kohteet 1 – 4 saavat huonomman ja kohde 6 paremman energiatehokkuusluokan toteutuneeseen luokkaan verrattuna.

Eri ilmavuotolukujen ja ilmanvaihtokertoimien vaikutuksia laskennalliseen energiankulutukseen on tutkittu kappaleessa 4.2.2. Kuvista 4.5 ja 4.6 nähdään kyseisten kertoimien pienimmällä ja suurimmalla arvolla laskettuja energiankulutuksia vastaavat energiatehokkuusluvut kohteittain. Tarkemmat arvot eri kertoimia vastaavista energiatehokkuusluvuista löytyy liitteen 2 taulukosta 1. Kuvissa on myös kohteiden toteutuneita energiankulutuksia vastaavat energiatehokkuusluvut. Ilmavuotoluvun varioinnissa on ilmanvaihtokertoimen arvo $0,5 \text{ l/h}$ ja ilmanvaihtokertoimen varioinnissa on ilmavuotoluvun arvo $n_{50} = 4 \text{ l/h}$.



Kuva 4.5. Toteutuneeseen ja laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut, kun laskennallisessa kulutuksessa on varioitu ilmapuotolukua. Ilmapuotolukuna laskennallisessa kulutuksessa on käytetty pienimmillään arvoa 1 l/h ja suurimmillaan arvoa 4 l/h. Ilmanvaihtokertoimen arvo laskennassa on 0,5 l/h.



Kuva 4.6. Toteutuneeseen ja laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut, kun laskennallisessa kulutuksessa on varioitu ilmanvaihtokerrointa. Ilmanvaihtokertoimenä laskennallisessa kulutuksessa on käytetty pienimmillään arvoa 0,1 l/h ja suurimmillaan arvoa 0,7 l/h. Ilmapuotoluvun arvo laskennassa on 4 l/h.

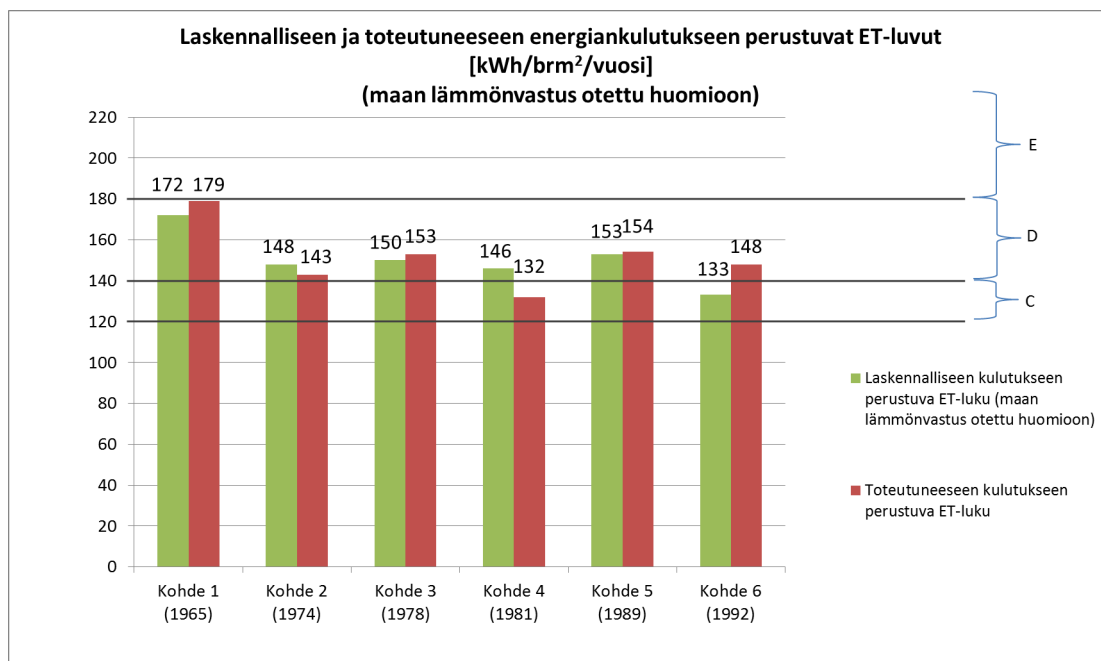
Kuvista 4.5 ja 4.6 nähdään, että ilmanvaihtokertoimen vaihtelulla on suurempi vaikutus energiankulutukseen kuin ilmapuotoluvun vaihtelulla. Kohteilla 2 ja 3 laskennallinen kulutus on niin suuri toteutuneeseen verrattuna, ettei edes pienillä ilmapuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimien arvoilla laskennalliseen kulutukseen perustuva energiatehokkuusluku ole lähellä toteutunutta. Kohteella 6 ilmapuotoluvun vaihtelusta huolimatta toteutuneen kulutuksen mukainen energiatehokkuusluku on suurempi laskennalliseen verrattuna. Muuten kohteilla on kuvien mukaan jotkin ilmapuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimien arvot, joilla laskennalliseen kulutukseen perustuva energiatehokkuusluku on lähellä toteutunutta arvoa. Tämän vuoksi tarkemmat lähtötiedot kohteiden ilmanpityvyydestä ja ilmanvaihdon suuruudesta olisivat tarpeen, jolloin saataisiin selville mikä on todellinen ero laskennallisen ja toteutuneen mukaisen kulutuksen välillä.

4.4.2 Laskennallinen kulutus maan lämmönvastus huomioiden

Koska taulukon 4.14 perusteella laskennallisessa energiankulutuksessa on suuri ero riippuen siitä, otetaanko maanvastaisilla alapohjilla laskennassa huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus, on vertailu laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen välillä tehty uudelleen. Energiankulutuksen laskennassa on käytetty alapohjan U-arvona Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden mukaan laskettua U-arvoa, joka ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Taulukossa 4.21 on toteutunut ja laskennallinen energiankulutus kohteittain sekä toteutuneen energiankulutuksen ero laskennalliseen verrattuna, kun laskennallisessa kulutuksessa on käytetty maan lämmönvastuksen huomioon ottavaa U-arvoa. Kuvassa 4.7 on toteutuneet ja laskennalliset energiatehokkuusluvut ja -luokat, kun laskennassa on otettu huomioon maan lämmönvastus.

Taulukko 4.21. Rakennuksen energiankulutuksen toteutunut ja laskennallinen arvo kohteittain, kun laskennassa on otettu huomioon maan lämmönvastus.

| Kohde | Rakennuksen energiankulutus (maan lämmönvastus otettu huomioon) [kWh] | | Toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen [%] |
|----------|--|----------------|--|
| | Toteutunut | Laskennallinen | |
| 1 (1965) | 309 305 | 296 348 | 4 % |
| 2 (1974) | 746 314 | 767 748 | -3 % |
| 3 (1978) | 1 055 626 | 1 038 896 | 2 % |
| 4 (1981) | 353 139 | 389 837 | -9 % |
| 5 (1989) | 190 953 | 189 002 | 1 % |
| 6 (1992) | 884 749 | 795 070 | 11 % |



Kuva 4.7. Laskennalliseen ja toteutuneeseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut, kun laskennassa on otettu huomioon maan lämmönvastus. Kuvassa on myös lukuja vastaavat energiatehokkuusluokat.

Taulukon 4.21 mukaan toteutuneen ja laskennallisen energiankulutuksen väliset erot ovat huomattavan paljon pienemmät kohteilla 2 ja 3 verrattuna taulukon 4.20 tuloksiin. Kohteella 1 toteutunut kulutus on nyt suurempi laskennalliseen verrattuna, mutta ero toteutuneen ja laskennallisen välillä on silti pieni. Kohteilla 4 ja 6 maan lämmönvastuksen huomiointi ei vaikuta toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen välinen eroon kovin paljon. Myös kuvasta 4.7 nähdään, että laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ovat kohteilla 2 ja 3 lähellä toteutuneita arvoja. Kohteiden 1 – 3 energiatehokkuusluokat ovat nyt samoja toteutuneen kulutuksen mukaisiin luokkiin verrattuna.

5 LÄMMÖNKULUTUKSEN LASKENTA

5.1 Laskennan lähtötiedot

Rakennuksen lämmönkulutus jakautuu ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden ja johtumishäviöiden kesken. Johtumishäviöt jaetaan edelleen ala- ja yläpohjan, ulkoseinien, ikkunoiden sekä ovien kesken. Arvio lämmönkulutuksen jakaumasta vaihtelee hieman eri kirjallisuuslähteiden mukaan, kuten kuvista 2.2 ja 2.3 nähdään.

Lämmönkulutuksen laskennan tavoitteena on selvittää, miten lämmönkulutus todellisuudessa jakautuu. Kohteiden lämmönkulutuksen laskennassa oletetaan, että kulutettu lämmitysenergia jakautuu käyttöveden lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja johtumishäviöiden kesken. Sekä lämmitysenergian kulutus että käyttöveden lämmitykseen kulunut energia on mitattu.

Lähtötiedoiksi laskennassa tarvitaan kulutustietojen lisäksi vaipan rakennusosien pinta-alat ja U-arvot. Rakennusosien pinta-aloja on taulukossa 3.6 ja U-arvoja taulukossa 3.7. Lämmönkulutuksen laskennassa alapohjan U-arvona käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 (RakMK: C4 2003) mukaan laskettua U-arvoa.

5.2 Kohteiden lämmönkulutus

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan kappaleen 4.1.2 mukaisesti kaavalla 4.3. Laskennassa on käytetty ilmanvaihtokertoimena arvoa $0,5 \text{ l / h}$, koska kohteiden ilmanvaihtokertoimen suuruuksia ei tiedetä. Ilmanvaihdon on laskettu olevan täydellä teholla 4 tuntia ja puoliteholla 20 tuntia vuorokaudessa. Kun lämmitysenergian kulutuksen arvosta vähennetään käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemat energiamäärät, saadaan johtumishäviöiden kautta kulunut lämmitysenergia. Taulukossa 5.1 on jokaisen kohteen käyttöveden lämmitykseen, ilmanvaihdon lämmitykseen ja johtumishäviöihin kulunut lämmitysenergia.

Taulukko 5.1. Käyttöveden lämmitykseen, ilmanvaihdon lämmitykseen ja johtumishäviöihin kulunut lämmitysenergia.

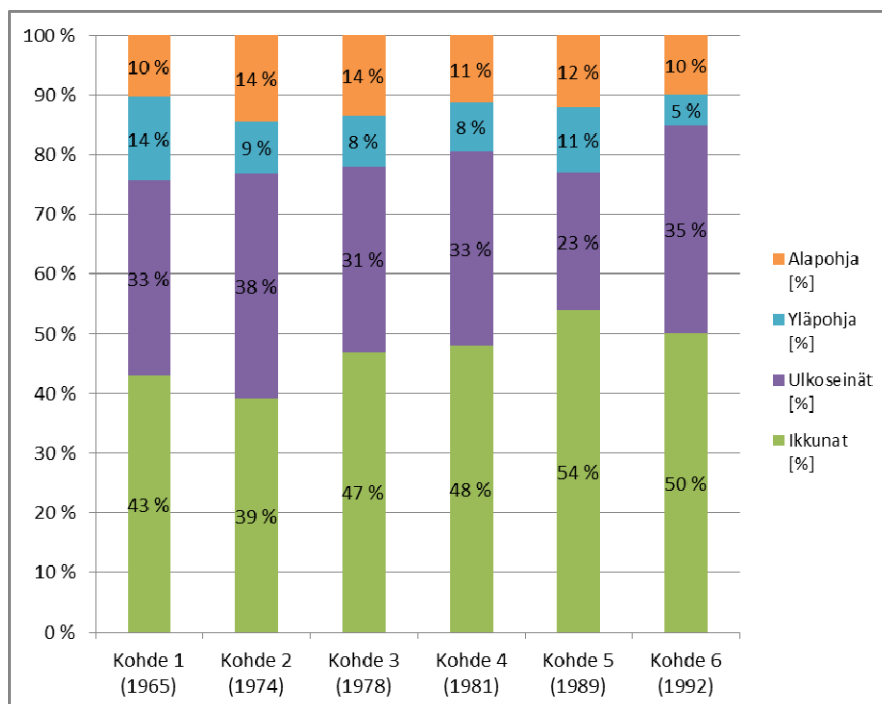
| Kohde | Käyttöveden lämmitys [kWh] | Ilmanvaihdon lämmitys [kWh] | Johtumishäviöt [kWh] |
|----------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 (1965) | 41 000 | 58 488 | 107 352 |
| 2 (1974) | 185 520 | 195 651 | 190 179 |
| 3 (1978) | 228 220 | 258 801 | 342 879 |
| 4 (1981) | 117 170 | 102 191 | 61 499 |
| 5 (1989) | 51 000 | 44 167 | 43 983 |
| 6 (1992) | 229 630 | 220 165 | 240 245 |

Johtumishäviöiden kautta tapahtuva lämmitysenergian kulutus jaetaan rakennusosittain tapahtuvaksi energian kulutukseksi niiden U-arvojen ja pinta-alojen perusteella. Rakennusosat on jaoteltu ikkunoihin, ulkoseiniin, yläpohjaan ja alapohjaan. Ikkunoiden osuuteen on laskettu mukaan parveke- ja ulko-ovet sekä mahdolliset ikkunoiden yhteydessä olevat tuuletusluukut. Kunkin rakennusosan osuus johtumishäviöistä voidaan laskea kaavalla 5.1. Kuvassa 5.1 on kohteiden johtumishäviöiden jakautuminen rakennusosittain.

$$n = \frac{\Sigma (A_x U_x)}{\Sigma (A_i U_i) + \Sigma (A_u U_u) + \Sigma (A_y U_y) + \Sigma (A_a U_a)} \quad (5.1)$$

missä

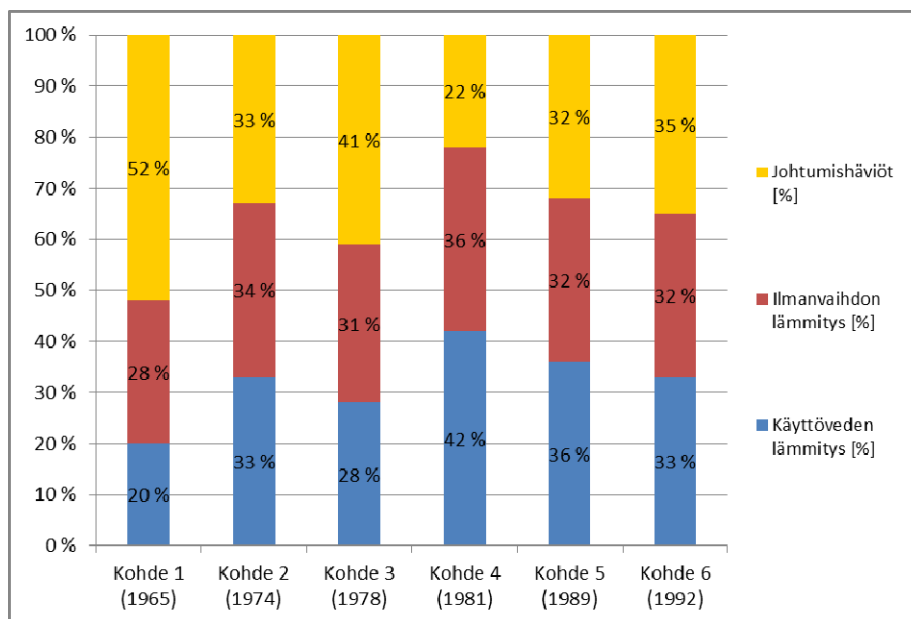
| | |
|-----------|---|
| n | rakennusosan osuus johtumishäviöistä |
| $A_x U_x$ | rakennusosan x pinta-alan ja U-arvon tulo |
| $A_i U_i$ | ikkunan pinta-alan ja U-arvon tulo |
| $A_u U_u$ | ulkoseinän pinta-alan ja U-arvon tulo |
| $A_y U_y$ | yläpohjan pinta-alan ja U-arvon tulo |
| $A_a U_a$ | alapohjan pinta-alan ja U-arvon tulo. |



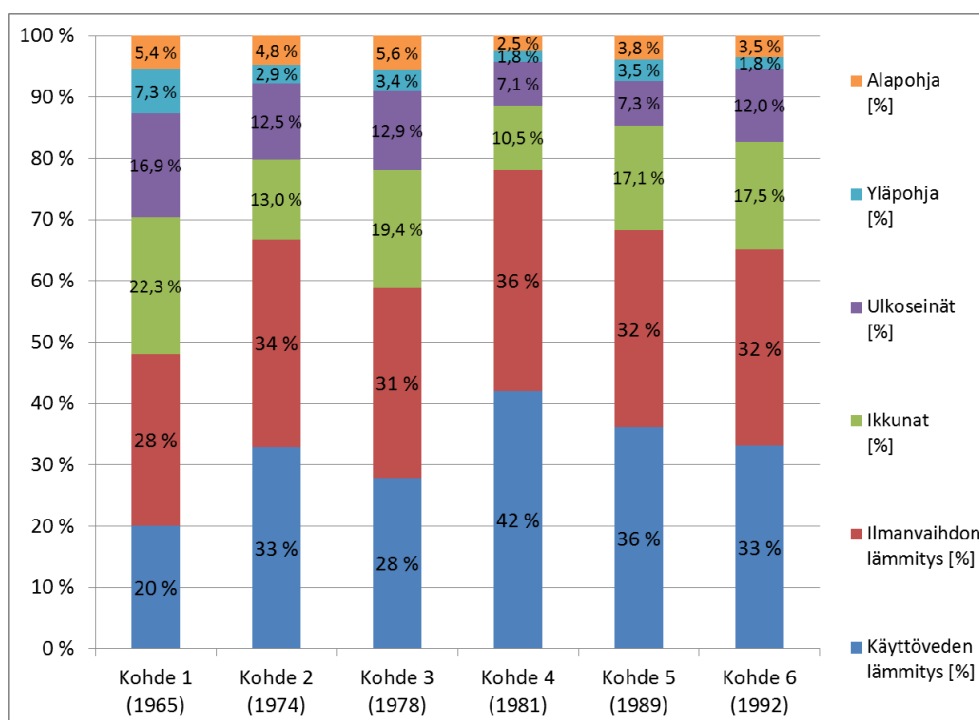
Kuva 5.1. Johtumishäviöiden jakautuminen rakennusosittain.

Kuvasta 5.1 nähdään, että alapohjan kautta tapahtuvat johtumishäviöt ovat kaikilla kohteilla samaa suuruusluokkaa. Sen sijaan yläpohjan kautta tapahtuvien johtumishäviöiden osuudessa on vaihtelua kohteittain. Suurin osa johtumishäviöistä tapahtuu ikkunoiden, parvekeovien ja ulko-ovien kautta, joiden osuus johtumishäviöistä on 39 – 54 % kohteesta riippuen. Kuvasta on nähtävissä, että ikkunoiden osuus johtumishäviöistä on suurempi uudemmilla kohteilla vanhempiin kohteisiin verrattuna. Ulkoseinien osuus johtumishäviöistä on kohteella 5 vain 23 % ja muilla kohteilla 31 – 38 %.

Kuvassa 5.2 on kohteiden lämmönkulutuksen jakautuminen käyttöveden lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja johtumishäviöiden kesken. Kuvassa 5.3 on lämmönkulutuksen jakautuminen, kun johtumishäviöt on jaettu rakennusosittain tapahtuviksi häviöiksi.



Kuva 5.2. Lämmönkulutuksen jakautuminen kohteittain.

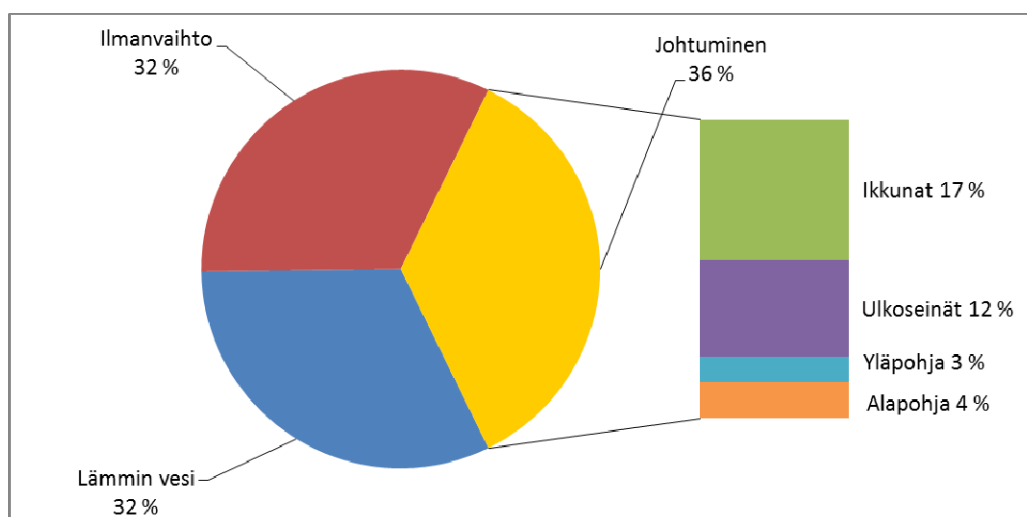


Kuva 5.3. Lämmönkulutuksen jakautuminen kohteittain, kun johtumishäviöt on jaettu rakennusosittain tapahtuviksi häviöiksi.

Kuvasta 5.2 nähdään, että lämmönkulutuksen jakautumisessa on huomattavan suuria eroja kohteiden välillä. Käyttöveden osuus vaihtelee 20 – 42 % välillä ja johtumishäviöiden osuus 22 – 52 % välillä. Ilmanvaihdon lämmitys vie joka kohteella noin kolmanneksen lämmitysenergiasta, mutta toisaalta ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on kaikilla kohteilla laskettu samalla ilmanvaihtokertoimella ja ilmanvaihdon käyntiajalla. Kohteilla 2, 5 ja 6 lämmönkulutus jakautuu suunnilleen kolmeen samansuuruisen osioon. Kohteella 1 käyttöveden lämmitykseen on kulunut vain 20 % lämmi-

tysenergiasta, jolloin johtumishäviöiden osuus on jopa puolet lämmönkulutuksesta. Myös kohteella 3 suurin osan lämmitysenergiasta kuluu johtumishäviöihin. Kohteella 4 lämmönkulutus on lähes päinvastainen verrattuna kohteisiin 1 ja 3: käyttöveden lämmitys kuluttaa suurimman osan eli 42 % lämmitysenergiasta, kun taas johtumishäviöt vievät ainoastaan 22 %. Kuvasta 5.3 nähdään, että alapohjan osuus lämmönkulutuksesta on lähes samansuuruinen joka kohteella, mutta yläpohjan osuudessa on hieman enemmän vaihtelua. Ikkunoiden osuus lämmönkulutuksesta on noin 11 – 22 % kohteesta riippuen ja ulkoseinien osuus vaihtelee noin 7 – 17 %:n välillä.

Todellisuudessa ilmanvaihdon osuus voi olla pienempi tai suurempi kuin kuvissa 5.2 ja 5.3 on esitetty. Kohteiden ilmanvaihtokertoimen suuruus ja ilmanvaihdon käyntiaika voivat poiketa oletetuista arvoista, jolla on vaikutusta ilmanvaihdon lämmitykseen kuluvan energian laskentaan. Koska käyttöveden lämmitykseen kulunut energia on mitattu, sen osuus lämmönkulutuksesta ei muutu, mutta ilmanvaihdon osuuden muutos vaikuttaa myös johtumishäviöiden osuuden suuruuteen. Kuvassa 5.4 on kohteiden lämmönkulutuksen jakauman keskiarvo.



Kuva 5.4. Kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvo.

Kuvasta 5.4 nähdään, että kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvo jakautuu melko tasaisesti lämpimän veden, ilmanvaihdon ja johtumishäviöiden kesken. Ikkunoiden, ulkoveinien ja parvekeovien osuus on lähes puolet johtumishäviöistä eli 17 % lämmönkulutuksesta. Ulkoseinien osuus on kolmanneksen johtumishäviöistä eli 12 % lämmönkulutuksesta. Alapohjan osuus on 4 % ja yläpohjan 3 % lämmönkulutuksesta.

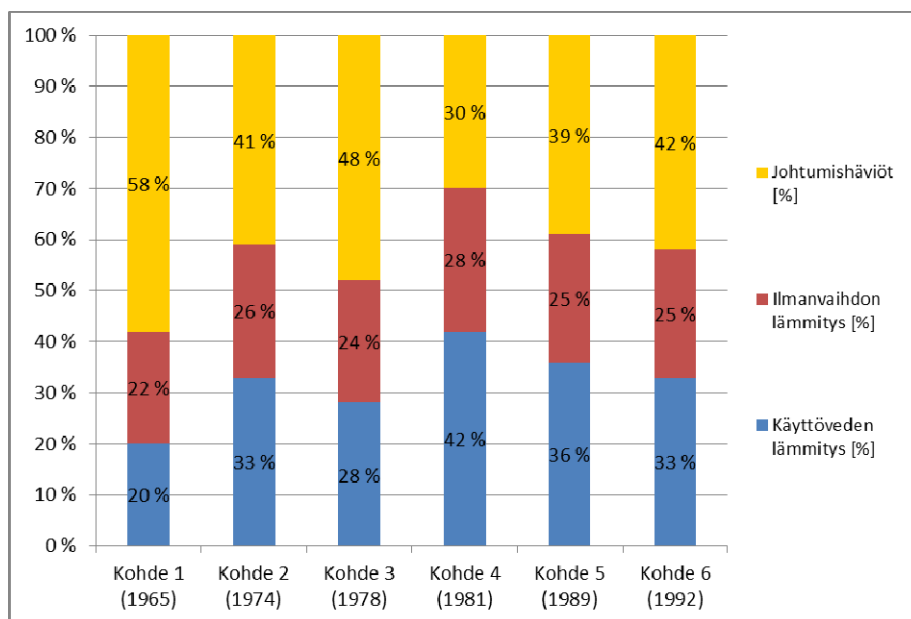
5.3 Ilmanvaihtokertoimen variointi

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 ohjeiden mukaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia voidaan laskea käyttämällä ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,5 – 0,7 l / h, jos ilmanvaihdon ilmavirtaa ei tunneta. Koska kohteiden ilmanvaihtokerto-

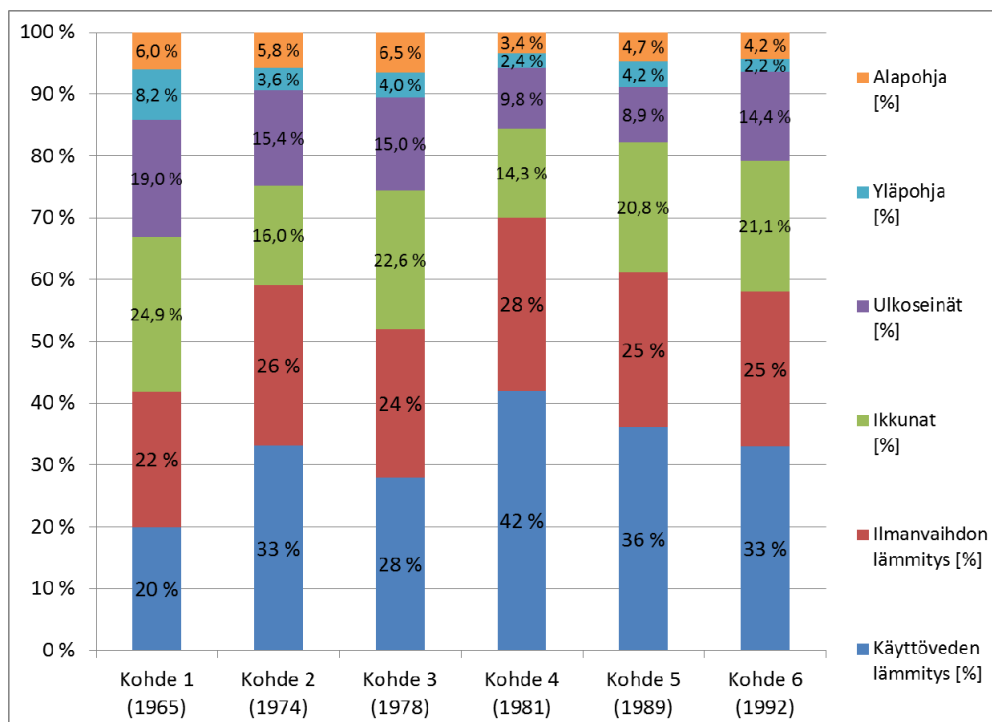
mista ei ole tarkkaa tietoa, niiden ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on laskettu käyttämällä ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,5 l / h. Tutkimuksen (Vinha et al. 2009) mukaan ilmanvaihtokertoimen keskimääräiseksi arvoksi kerrostaloissa saatiin mittausten mukaan 0,39 l / h. Tämän vuoksi kohteiden ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on laskettu uudelleen ilmanvaihtokertoimen arvolla 0,39 l / h. Taulukossa 5.2 on käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmitykseen sekä johtumishäviöihin kulunut lämmitysenergia kohteittain. Kuvissa 5.5 ja 5.6 on lämmönkulutuksen jakautuminen.

Taulukko 5.2. Käyttöveden lämmitykseen, ilmanvaihdon lämmitykseen ja johtumishäviöihin kulunut lämmitysenergia, kun ilmanvaihdon määrä on laskettu käyttäen ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,39 l / h.

| Kohde | Käyttöveden lämmitys [kWh] | Ilmanvaihdon lämmitys [kWh] | Johtumishäviöt [kWh] |
|----------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 (1965) | 41 000 | 45 620 | 120 220 |
| 2 (1974) | 185 520 | 152 607 | 233 223 |
| 3 (1978) | 228 220 | 201 865 | 399 815 |
| 4 (1981) | 117 170 | 79 709 | 83 981 |
| 5 (1989) | 51 000 | 34 450 | 53 700 |
| 6 (1992) | 229 630 | 171 729 | 288 681 |

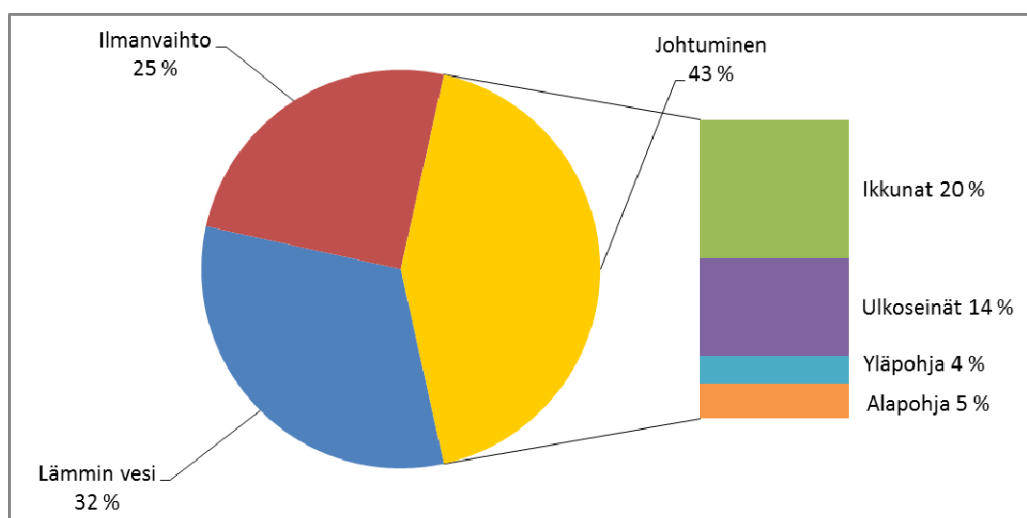


Kuva 5.5. Lämmönkulutuksen jakautuminen, kun ilmavaihtokerroin on 0,39 l/h.



Kuva 5.6. Lämmönkulutuksen jakautuminen, kun johtumishäviöt on jaettu rakennusosittain tapahtuviksi häviöiksi. Ilmanvaihtokertoimenä on käytetty arvoa 0,39 l/h.

Kuvista 5.5 ja 5.6 nähdään, että ilmanvaihdon lämmitys vie vain noin neljänneksen lämmitysenergiasta, kun ilmanvaihtokertoimen pienentyy arvosta 0,5 l / h arvoon 0,39 l / h. Koska veden lämmitykseen käytetty energia on mitattu, sen osuus lämmönkulutuksesta pysyy vakiona. Sen sijaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian pienentyessä johtumishäviöiden osuus lämmönkulutuksesta kasvaa. Vastaavasti jos ilmanvaihdon osuus on suurempi, pienenee johtumishäviöiden osuus. Kuvassa 5.7 on kohteiden lämmönkulutuksen jakauman keskiarvo.



Kuva 5.7. Kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvo, kun ilmanvaihdon osuus on laskettu käyttäen ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,39 l / h.

Ilmanvaihdon osuuden pienentyessä johtumishäviöiden kautta kulunut energia kasvaa. Kun ilmanvaihdon osuus ilmanvaihtokertoimen arvolla 0,39 1 / h on enää 25 % lämmönkulutuksesta, on johtumishäviöiden osuus 43 %, kuten kuvasta 5.7 nähdään. Tällöin ikkunoiden, parvekeovien ja ulko-ovien osuus on viidenneksen koko lämmönkulutuksesta.

5.4 Lämmönkulutuksen vertailu kirjallisuudesta saatavaan lämmönkulutuksen jakaumaan

Kohteiden lämmönkulutuksen jakauma perustuu sekä mitattuun että laskettuun kulutukseen. Lämmitysenergian kulutus sekä käyttöveden lämmittämiseen käytetyn energian määrä on mitattu. Ilmanvaihdon lämmitykseen käytetty energia on laskettu kappaleen 4.1.2 mukaisesti kaavalla 4.3 ja johtumishäviöihin kulunut energia on laskettu vähentämällä lämmitysenergiasta käyttöveden lämmitykseen ja ilmanvaihdon lämmitykseen kulunut energia. Lämmönkulutus on laskettu sekä ilmanvaihtokertoimen arvolla 0,5 1 / h että ilmanvaihtokertoimen arvolla 0,39 1 / h.

Arvio lämmönkulutuksen jakaumasta vaihtelee hieman eri kirjallisuuslähteiden mukaan. Kuvan 2.2 mukaan käyttöveden osuus on 40 %, ilmanvaihdon osuus 30 % ja johtumishäviöiden osuus 30 % lämmönkulutuksesta. Kuvan 2.3 mukaan käyttöveden lämmittämiseen kuluu 25 %, ilmanvaihdon lämmittämiseen 35 % ja johtumishäviöihin 40 % lämmönkulutuksesta. Johtumishäviöt jakautuvat edelleen ikkunoiden, ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan kautta tapahtuviksi häviöiksi. Ikkunoiden osuus sisältää myös parveke- ja ulko-ovet. Kuvan 2.2 mukaan ikkunoiden kautta kuluu 13 %, ulkoseinien kautta 11 %, yläpohjan kautta 4 % ja alapohjan kautta 2 % lämmönkulutuksesta. Kuvan 2.3 mukaan ikkunoiden kautta kuluu 16 %, ulkoseinien kautta 10 %, yläpohjan kautta 8 % ja alapohjan kautta 6 % lämmönkulutuksesta.

Kohteiden käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia on mitattu, joten sen osuus lämmönkulutuksesta pysyy vakiona ja ainoastaan ilmanvaihdon sekä johtumishäviöiden osuudet lämmönkulutuksesta muuttuvat, kun tutkitaan lämmönkulutuksen jakaumaa eri ilmanvaihtokertoimien arvoilla. Kohteiden lämpimän veden osuus lämmönkulutuksesta vaihtelee 20 – 42 % välillä.

Kun ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lasketaan käyttäen ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,5 1 / h, kohteiden ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian osuus lämmönkulutuksesta vaihtelee 28 – 36 % välillä ja johtumishäviöiden osuus 22 – 52 % välillä. Tällöin kohteen 3 jakauma vastaa lähes kuvan 2.3 lämmönkulutuksen jakaumaa ja kohteen 5 jakauma on lähes vastaava kuin kuvassa 2.2. Muilla kohteilla lämmönkulutus ei suoraan vastaa kumpaakaan kirjallisuudesta saatavaa jakaumaa. Kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvo on lähellä kuvassa 2.2 olevaa jakaumaa. Johtumishäviöiden jakautuminen eri rakennusosille on kohteiden keskiarvon mukaan lähellä ku-

van 2.3 jakaumaa, mutta alapohjan ja yläpohjan osuus lämmönkulutuksesta on kohteilla pienempi kuin kuvassa 2.3.

Kun ilmanvaihtokertoimenä on käytetty arvoa $0,39 \text{ l/h}$, ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia pienenee. Tällöin ilmanvaihdon osuus lämmönkulutuksesta vaihtelee $22 - 28 \%$ välillä ja johtumishäviöiden osuus $41 - 58 \%$ välillä. Nyt ainoastaan kohteen 4 lämmönkulutuksen jakauma on lähes kuvan 2.2 kaltainen, mutta muiden kohteiden lämmönkulutus ei vastaa täysin kumpaakaan kuvien 2.2 ja 2.3 lämmönkulutuksen jakaumaa. Myöskään kohteiden lämmönkulutusten jakaumista lasketun keskiarvon jakauma ei vastaa kirjallisuuslähteistä saatavia jakaumia.

Kohteiden ilmanvaihtokertoimen suuruudesta ei ollut tietoa, joten laskelmissa on käytetty ilmanvaihtokertoimenä määräystason mukaisen kertoimen $0,5 \text{ l/h}$ lisäksi tutkimustulosten (Vinha et al. 2009) mukaista kerrointa $0,39 \text{ l/h}$. Myös ilmanvaihdon käyntiaika on arvioitu. Kuten taulukosta 4.13 nähdään, ilmanvaihtokertoimen suuruudella on todella suuri vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen. Tämän vuoksi tarkempi tieto kohteiden ilmanvaihdosta on tarpeen, jotta lämmönkulutuksen tarkemmat jakaumat saadaan selville.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Yhteenveto tuloksista

Tämän diplomityön tavoitteena oli vertailla asuinkerrostalon laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvia energiatehokkuuslukuja. Työn tarkoituksena oli myös selvittää asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen ilmanvaihdon, johtumishäviöiden ja lämpimän käyttöveden kesken ja vertailla sitä kirjallisuudesta saatavaan lämmönkulutuksen jakaumaan. Tutkimusta varten aineistosta on valittu kuusi asuinkerrostalokiinteistöä, joiden valmistumisajankohta sijoittuu vuosien 1965 – 1992 välille. Energiankulutuksen laskennassa on käytetty Suomen rakentamismääräyskoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeita. Energiatehokkuusluku on laskettu Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) ohjeiden mukaisesti. Lämmönkulutuksen jakauma on määriteltä osittain mitattujen tietojen perusteella ja osittain laskennallisesti.

Kohteilla 1 – 4 (valmistumisvuodet 1965 – 1981 välillä) laskennalliseen kulutukseen perustuva energiatehokkuusluku on suurempi ja kohteella 6 (valmistumisvuosi 1992) pienempi toteutuneen kulutuksen mukaiseen energiatehokkuuslukuun verrattuna. Ainoastaan kohteella 5 (valmistumisvuosi 1989) energiatehokkuusluku on lähes sama sekä laskennalliseen että toteutuneeseen energiankulutukseen perustuen.

Laskennallista energiankulutusta on varioitu ilmapuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen avulla. Ilmapuotoluvun pienentyessä arvosta $n_{50} = 4 \text{ l/h}$ arvoon $n_{50} = 1 \text{ l/h}$ on laskennallinen energiankulutus 7 – 10 % pienempi kohteesta riippuen. Ilmanvaihtokertoimen pienentyessä arvosta 0,5 l/h arvoon 0,1 l/h on laskennallinen energiankulutus 14 – 20 % pienempi. Toisaalta ilmanvaihtokertoimen suurentuessa arvosta 0,5 l/h arvoon 0,7 l/h on laskennallinen energiankulutus 7 – 10 % suurempi.

Kohteiden energiankulutukset on laskettu myös ottaen alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus huomioon. Laskennallinen energiankulutus on tällöin 10 – 22 % pienempi kohteilla 1 – 3. Muilla kohteilla maan lämmönvastuksen huomioon otto ei vaikuta rakennuksen energiankulutuksen laskennalliseen arvoon. Vastaavasti kohteiden 1 – 3 energiatehokkuusluvut pienenevät huomattavasti. Kun laskennassa otetaan huomioon maan lämmönvastus, ovat kohteiden 1 – 3 laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut lähellä toteutuneen kulutuksen mukaisia arvoja.

Lämmönkulutuksen jakauma vaihtelee suuresti kohteittain. Lämpimän käyttöveden osuus on 20 – 42 % välillä, ilmanvaihdon lämmityksen osuus 28 – 36 % välillä ja joh-

tumishäviöiden osuus 22 – 52 % välillä kohteesta riippuen. Lähes kaikilla kohteilla johtumishäviöistä puolet tapahtuu ikkunoiden, parvekeovien sekä ulko-ovien kautta ja noin kolmasosa ulkoseinien kautta. Kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvo jakautuu melko tasaisesti ilmanvaihdon, johtumishäviöiden ja lämpimän käyttöveden kesken.

6.2 Johtopäätökset

Laskennallinen energiankulutus Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeita noudattaen ei vastaa toteutunutta energiankulutusta. Toteutuneen kulutuksen ero laskennalliseen verrattuna vaihtelee suuresti eri kohteiden välillä ja eroa on sekä kiinteistösähkön että lämmitysenergian toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen välillä. Tuloksista voidaan päätellä, että ohjeet (RakMK: D5 2007) yliarvioivat vanhempien asuinkerrostalojen ja aliarvioivat uudempien asuinkerrostalojen kokonaisenergiankulutuksen. Vastaavasti energiatehokkuuslukujen ja –luokkien laskennalliset arvot eroavat toteutuneista arvoista. Energiatehokkuuslukujen perusteella kohteet 1 – 4 saavat laskennallisesti huonomman ja kohde 6 laskennallisesti paremman energiatehokkuusluokituksen toteutuneeseen luokkaan verrattuna. Vain kohteen 5 laskennalliseen energiankulutukseen perustuva energiatehokkuusluku on lähes samansuuruinen toteutuneen kulutuksen mukaisen luvun kanssa ja kohteen toteutunut energiatehokkuusluokka on sama kuin laskennallisesti.

Pelkän energiatehokkuusluokan kannalta ei pienillä eroilla laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen välillä ole välttämättä vaikutusta. Rakennus voi saada saman energiatehokkuusluokituksen, vaikka laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen mukaisten energiatehokkuuslukujen välillä olisi usean yksikön suuruinen ero. Toisaalta rakennus saattaa laskennallisesti saada joko paremman tai huonomman luokituksen todelliseen luokkaan verrattuna, jos todellisen kulutuksen mukainen energiatehokkuusluku on lähellä kahden eri luokan rajaa. Tällöin mahdollisimman tarkat lähtötiedot rakennuksesta voivat auttaa saamaan laskennallisen arvon riittävän lähelle toteutuneen mukaista arvoa.

Ulkoseinärakenteen lämmöneristepaksuudella ei näytä olevan vaikutusta rakennuksen laskennalliseen eikä toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvaan energiatehokkuuslukuun. Esimerkiksi kohteilla 3 ja 4 on sama lämmöneristepaksuus (120 mm), mutta niiden laskennalliseen kulutukseen perustuvissa energiatehokkuusluvuissa on suuri ero. Kohteella 2 toteutuneen kulutuksen mukainen energiatehokkuusluku on pienempi kuin kohteella 5, vaikka lämmöneristepaksuus kohteella 5 on 140 mm ja kohteella 2 vain 90 mm.

Sekä rakennuksen tiiveydellä että ilmanvaihdolla on suuri vaikutus kokonaisenergiankulutukseen. Koska lähiökerrostalossa ilmanvaihtojärjestelmänä on tyypillisesti koneellinen poistoilmanvaihto eikä lämmöntalteenottoa ole, ulkoa otettu kylmä ilma lämmitetään ja lämmin ilma puhalletaan suoraan ulos. Määräystasoa (0,5 vaihtoa tunnissa) pie-

nemmällä ilmanvaihdolla on mahdollista saada merkittävää energiankulutuksen pienemistä. Tällöin oleellinen kysymys on, kuinka paljon ilmanvaihtoa voidaan pienentää huoneilmanlaadun oleellisesti siitä kärsimättä ja voidaanko ilmanvaihto esimerkiksi ajastuksella ohjata pienemmäksi päiväaikaan, kun asukkaat suurimmalta osin ovat töissä tai koulussa. Toisaalta kesäkaudella, jolloin kerrostaloasunnoissa on usein liian lämmin, ilmanvaihtoa tulisi tehostaa

Tulosten perusteella alapohjan alapuolisen maan lämmönvastuksen huomioinnilla on suuri merkitys laskennalliseen energiankulutukseen, jos alapohjan U-arvo eroaa huomattavasti siitä, lasketaanko se Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 vai C4 ohjeiden mukaan. Toisaalta tulosten perusteella voidaan päätellä, että maan lämmönvastuksen huomioinnilla on merkitystä lähinnä vanhemmilla asuinkerrostaloilla. Koska asuinkerrostalon energiatehokkuusluku perustuu laskennalliseen energiankulutukseen vain uudisrakennuksella, ei alapohjan U-arvon laskentatavalla ole tällöin suurta vaikutusta asuinkerrostalon energiatehokkuuslukuun.

Lämmönkulutuksen jakaumissa kohteittain on huomattavaa vaihtelua. Tuloksista on kuitenkin nähtävissä, että käyttöveden lämmityksen osuus lämmönkulutuksesta on hie- man pienempi vanhemmilla kohteilla. Lämmönkulutuksen keskiarvon perusteella läm- mönkulutus asuinkerrostalossa jakautuu lähes tasan kolmeen osaan: käyttöveden läm- mityksen osuus on 32 %, ilmanvaihdon osuus on 32 % ja johtumishäviöiden osuus on 36 %. Johtumishäviöistä noin puolet tapahtuu ikkunoiden ja parvekeovien kautta, noin kolmasosa ulkoseinien kautta ja loput ala- ja yläpohjan kautta. Suurin energiansäästöpo- tentiaali koko lähiökerrostalokannasta löytyy siis ikkunoiden ja parvekeovien uusimi- sesta.

Tutkimukseen valittiin mukaan kuusi asuinkerrostalokiinteistöä eri vuosikymmeniltä ja eri lämmöneristysmääräysten aikakausilta. Lisätutkimus on kuitenkin tarpeen, kun halu- taan selvittää tarkemmin

- laskennallisen energiatehokkuusluvun ero toteutuneeseen verrattuna
- ulkoseinärakenteen lämmöneristyspaksuuden vaikutus energian- ja lämmönkulu- tukseen ja
- lämmönkulutuksen jakautuminen.

Lisätutkimusta varten on tärkeää valita useita asuinkerrostalokiinteistöjä eri vuosikym- meniltä. Tällöin erot esimerkiksi eri-ikäisten kiinteistöjen laskennallisten ja toteutunei- den energiatehokkuuslukujen välillä olisivat selkeämmin nähtävissä. Lisäksi saataisiin selville lämmönkulutuksen jakautuminen eri-ikäisillä kiinteistöillä.

Myös lähtötietojen tarkempi selvitys on tarpeen. Esimerkiksi tämän tutkimuksen koh- teiden ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on laskettu ilmanvaihtokertoimen

arvolla $0,5 \text{ l / h}$ ja oletuksella, että ilmanvaihto on täydellä teholla neljä tuntia vuorokaudessa, kun tarkempia tietoja ei ollut saatavilla. Jos kohteista tiedettäisiin niiden todelliset ilmanvaihtokertoimet ja ilmanvaihdon käyntiajat, saataisiin mahdollisesti todenmukaisemmat tulokset laskennallisen ja toteutuneen energiankulutuksen mukaisten energiatehokkuuslukujen eroista sekä lämmönkulutuksen jakaumasta.

LÄHTEET

A 19.6.2007/765. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta.

Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki 2003, Sosiaali- ja terveysministeriö. 88 s.

C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma.

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma.

Energiansäästömahdollisuudet asuinkiinteistökannassa – esiselvitys. Helsinki 2000, Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön moniste 71. 66 s.

Energiatodistusopas 2007. 2009. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Ympäristöministeriö. 37 s. + liitt. 110 s.

Holopainen, R., Hekkanen, M., Hemmilä, K. & Norvasuo, M. Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. Espoo 2007, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2377. 104 s. + liitt. 2 s.

Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen. Työryhmämuistio. Helsinki 2009, Ympäristöministeriö. 17 s.

Kerrostalot 1880 – 2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Tampere 2006, Rakennustietosäätiö RTS. 288 s.

Kiinteistöjen energiatalous, energiansäästöohjeita isännöitsijöille, kiinteistönhoitajille, talonmiehille, kunnossapitäjille ja rakennusten käyttäjille. Lahti 1980. Kaupunkiliiton julkaisu C 32. 117 s.

L 13.4.2007/487. Laki rakennuksen energiatodistuksesta.

Lahdensivu, J. & Hilliaho, K. Lämmöneristepaksuudet suomalaisissa betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa. [WWW]. 2010. [viitattu 28.2.2012] Saatavissa: http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/tutkittua/Beko_tutkimus/be ko6.pdf

Lappalainen M. Energia- ja ekologiakäsikirja - suunnittelu ja rakentaminen. Tampere 2010, Rakennustieto Oy. 200 s.

Linne, S. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. [WWW]. 2010. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa: <http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/tutkittua/lisalammoneristetutkimus.pdf>

Mäkinen, H. Energiatehokas ikkuna- ja julkisivukorjaus. [WWW]. Suomen Talokeskus. 2009. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa: <http://www.teeparannus.fi/attachements/2009-04-22T10-49-599785.pdf>

Nippala E., Heljo J., Jaakkonen L. & Lehtinen E. Rakennuskannan energiankulutus Suomessa. Espoo 1995, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1625. 61 s. + liitt. 14 s.

Paloniitty, S. Energiatehokkaan rakentamisen laadunvalvonta. [WWW]. Hämeen ammattikorkeakoulu. 2010. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa: <http://www.ara.fi/download.asp?contentid=23592&lan=fi>

Taivalantti, K. Julkisivurakenteiden perusparantamisen vaikutukset energiankulutukseen. Diplomityö. Tampere 1997. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto. 115 s. + liitt. 37 s.

Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. & Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere 2009, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 140. 147 s. + liitt. 19 s.

LIITTEET

- LIITE 1 Ilmavuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen
- LIITE 2 Eri ilmavuotolukuja ja ilmanvaihtokertoimia vastaavat laskennalliseen energiankulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut

LIITE 1: Ilmavuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen

Taulukko 1. Ilmavuotoluvun suuruuden vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen. Energiankulutuksen laskennan perustapauksessa on käytetty ilmavuotoluvun arvona $n_{50} = 4$ l/h. Taulukosta nähdään laskennallisen kulutuksen ero perustapaukseen verrattuna, kun ilmavuotoluvun suuruus vaihtelee.

| | Ilmavuotoluku n_{50} [l/h] | Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia [kWh] | Rakennuksen energian- kulutus [kWh] | Ilmavuotoluvun vaikutus rakennuksen energian- kulutukseen [%] |
|---------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Kohde 1 (1965) | 1 | 8 021 | 306 335 | -7 % |
| | 1,5 | 12 032 | 310 158 | -6 % |
| | 2 | 16 042 | 313 987 | -5 % |
| | 2,5 | 20 053 | 317 821 | -4 % |
| | 3 | 24 063 | 321 661 | -2 % |
| | 3,5 | 28 074 | 325 507 | -1 % |
| | 4 | 32 085 | 329 358 | 0 % |
| Kohde 2 (1974) | 1 | 26 832 | 901 431 | -8 % |
| | 1,5 | 40 248 | 914 711 | -7 % |
| | 2 | 53 664 | 927 998 | -5 % |
| | 2,5 | 67 080 | 941 292 | -4 % |
| | 3 | 80 496 | 954 593 | -3 % |
| | 3,5 | 93 912 | 967 900 | -1 % |
| | 4 | 107 328 | 981 212 | 0 % |
| Kohde 3 (1978) | 1 | 35 493 | 1 219 667 | -8 % |
| | 1,5 | 53 239 | 1 237 124 | -7 % |
| | 2 | 70 985 | 1 254 594 | -5 % |
| | 2,5 | 88 732 | 1 272 077 | -4 % |
| | 3 | 106 478 | 1 289 573 | -3 % |
| | 3,5 | 124 225 | 1 307 081 | -1 % |
| | 4 | 141 971 | 1 324 599 | 0 % |
| Kohde 4 (1981) | 1 | 14 015 | 351 950 | -9 % |
| | 1,5 | 21 022 | 357 955 | -8 % |
| | 2 | 28 029 | 363 986 | -6 % |
| | 2,5 | 35 037 | 370 040 | -5 % |
| | 3 | 42 044 | 376 116 | -3 % |
| | 3,5 | 49 052 | 382 213 | -2 % |
| | 4 | 56 059 | 388 332 | 0 % |
| Kohde 5 (1989) | 1 | 6 057 | 173 373 | -8 % |
| | 1,5 | 9 086 | 175 960 | -7 % |
| | 2 | 12 114 | 178 556 | -6 % |
| | 2,5 | 15 143 | 181 158 | -4 % |
| | 3 | 18 171 | 183 767 | -3 % |
| | 3,5 | 21 200 | 186 382 | -1 % |
| | 4 | 24 229 | 189 002 | 0 % |
| Kohde 6 (1992) | 1 | 30 194 | 727 709 | -10 % |
| | 1,5 | 45 291 | 740 575 | -8 % |
| | 2 | 60 388 | 753 508 | -6 % |
| | 2,5 | 75 485 | 766 500 | -5 % |
| | 3 | 90 582 | 779 546 | -3 % |
| | 3,5 | 105 679 | 792 642 | -2 % |
| | 4 | 120 776 | 805 787 | 0 % |

Taulukko 2. Ilmanvaihtokertoimen suuruuden vaikutus laskennalliseen energiankulutukseen. Energiankulutuksen laskennan perustapauksessa on käytetty ilmanvaihtokertoimen arvona 0,5 l/h. Taulukosta nähdään laskennallisen kulutuksen ero perustapaukseen verrattuna, kun ilmanvaihtokertoimen suuruus vaihtelee.

| | Ilmanvaihtokerroin [l/h] | Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia [kWh] | Rakennuksen energiankulutus [kWh] | Ilmanvaihtokertoimen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen [%] |
|---------------------------|--------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Kohde 1 (1965) | 0,1 | 11 698 | 282 386 | -14 % |
| | 0,2 | 23 395 | 294 065 | -11 % |
| | 0,3 | 35 093 | 305 790 | -7 % |
| | 0,4 | 46 790 | 317 555 | -4 % |
| | 0,5 | 58 488 | 329 358 | 0 % |
| | 0,6 | 70 185 | 341 195 | 4 % |
| | 0,7 | 81 883 | 353 062 | 7 % |
| Kohde 2 (1974) | 0,1 | 39 130 | 819 742 | -16 % |
| | 0,2 | 78 260 | 860 037 | -12 % |
| | 0,3 | 117 390 | 900 386 | -8 % |
| | 0,4 | 156 520 | 940 781 | -4 % |
| | 0,5 | 195 651 | 981 212 | 0 % |
| | 0,6 | 234 781 | 1 021 675 | 4 % |
| | 0,7 | 273 911 | 1 062 164 | 8 % |
| Kohde 3 (1978) | 0,1 | 51 760 | 1 112 066 | -16 % |
| | 0,2 | 103 520 | 1 165 057 | -12 % |
| | 0,3 | 155 281 | 1 218 153 | -8 % |
| | 0,4 | 207 041 | 1 271 338 | -4 % |
| | 0,5 | 258 801 | 1 324 599 | 0 % |
| | 0,6 | 310 561 | 1 377 924 | 4 % |
| | 0,7 | 362 322 | 1 431 304 | 8 % |
| Kohde 4 (1981) | 0,1 | 20 438 | 314 085 | -19 % |
| | 0,2 | 40 876 | 332 290 | -14 % |
| | 0,3 | 61 314 | 350 776 | -10 % |
| | 0,4 | 81 753 | 369 470 | -5 % |
| | 0,5 | 102 191 | 388 332 | 0 % |
| | 0,6 | 122 629 | 407 352 | 5 % |
| | 0,7 | 143 067 | 426 531 | 10 % |
| Kohde 5 (1989) | 0,1 | 8 833 | 157 005 | -17 % |
| | 0,2 | 17 667 | 164 884 | -13 % |
| | 0,3 | 26 500 | 172 862 | -9 % |
| | 0,4 | 35 333 | 180 908 | -4 % |
| | 0,5 | 44 167 | 189 002 | 0 % |
| | 0,6 | 53 000 | 197 139 | 4 % |
| | 0,7 | 61 833 | 205 321 | 9 % |
| Kohde 6 (1992) | 0,1 | 44 033 | 646 718 | -20 % |
| | 0,2 | 88 066 | 685 572 | -15 % |
| | 0,3 | 132 099 | 725 144 | -10 % |
| | 0,4 | 176 132 | 765 262 | -5 % |
| | 0,5 | 220 165 | 805 787 | 0 % |
| | 0,6 | 264 198 | 846 673 | 5 % |
| | 0,7 | 308 231 | 887 914 | 10 % |

LIITE 2: Eri ilmavuotolukuja ja ilmanvaihtokertoimia vastaavat energiatehokkuusluvut

Taulukko 1. Laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut, kun ilmavuotolukua ja ilmanvaihtokerrointa on varioitu. Taulukossa on myös toteutuneen kulutuksen mukaiset energiatehokkuusluvut.

| | Energiatehokkuusluku [kWh/brm ² /vuosi] | | | | | |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Kohde 1 (1965) | Kohde 2 (1974) | Kohde 3 (1978) | Kohde 4 (1981) | Kohde 5 (1989) | Kohde 6 (1992) |
| Toteutunut ET-luku | 179 | 143 | 153 | 132 | 154 | 148 |
| Ilmavuotoluku n_{50} [1/h] | | | | | | |
| 1 | 178 | 173 | 176 | 132 | 140 | 122 |
| 1,5 | 180 | 176 | 179 | 134 | 142 | 124 |
| 2 | 182 | 178 | 181 | 136 | 144 | 126 |
| 2,5 | 184 | 181 | 184 | 138 | 146 | 128 |
| 3 | 187 | 183 | 186 | 141 | 148 | 130 |
| 3,5 | 189 | 186 | 189 | 143 | 150 | 133 |
| 4 | 191 | 188 | 191 | 145 | 153 | 135 |
| Ilmanvaihtokerroin [1/h] | | | | | | |
| 0,1 | 164 | 158 | 161 | 118 | 127 | 108 |
| 0,2 | 171 | 165 | 168 | 124 | 133 | 115 |
| 0,3 | 177 | 173 | 176 | 131 | 140 | 121 |
| 0,4 | 184 | 181 | 184 | 138 | 146 | 128 |
| 0,5 | 191 | 188 | 191 | 145 | 153 | 135 |
| 0,6 | 198 | 196 | 199 | 152 | 159 | 142 |
| 0,7 | 205 | 204 | 207 | 159 | 166 | 148 |